

# Instructions pour les travaux de prothèse dentaire

## Dentaurum Laser dentaire desktop Compact

Table des matières	Page
<b>1. Remarques préliminaires</b> .....	<b>2</b>
<b>2. Avantages de la soudure au laser</b> .....	<b>2</b>
<b>3. Propriétés des matériaux et soudabilité (au laser)</b> .....	<b>2</b>
3.1. Propriétés physiques .....	2
3.2. Etat de surface du métal .....	3
3.3. Composition des alliages .....	3 + 4
<b>4. Concepts de physique appliqués au laser</b> .....	<b>5</b>
<b>5. Mode opératoire pour les soudures au laser en prothèse dentaire</b> .....	<b>6</b>
5.1 Propriétés des alliages .....	6
5.2. Appréciation des surfaces à souder .....	6
5.3. Préparation des emplacements de soudage .....	7
5.3.1. Préparation d'un contact bout à bout .....	7 + 8
5.3.2. Qualité du contact bout à bout .....	8
5.3.3. Contact bout à bout central .....	8 + 9
5.3.4. Intervalle de soudage plus large .....	9
5.4. Matériau d'apport pour soudure .....	9
5.4.1. Matériau d'apport prêt à l'emploi pour soudure .....	9 + 10
5.4.2. Matériau d'apport coulé .....	10
5.5. Préparation de l'appareil de soudage au laser .....	10
5.5.1. Propreté du verre de protection de l'objectif .....	10
5.5.2. Protection de la zone de soudage .....	10
5.6. Réglage des paramètres de soudage .....	11
5.6.1. L'opération de soudage en prothèse dentaire .....	11
5.6.2. La tension .....	11
5.6.3. La durée d'impulsion .....	11
5.6.4. La combinaison tension / durée d'impulsion .....	11 + 12
5.6.5. Le réglage de la focale .....	12
5.7. Déroulement de l'opération de soudage .....	13
5.7.1. Contrôle et estimation de la profondeur globale de soudage .....	13
5.7.2. Soudure de fixation .....	13
5.7.3. Soudage en profondeur .....	13 + 14
5.7.4. Soudage en profondeur avec matériau d'apport .....	14
5.7.5. Soudage en X .....	14 + 15
5.7.6. Cordon de soudure .....	15
5.7.7. Dépôt de matériau .....	15
5.7.8. Orientation du rayon laser .....	16
5.7.9. Egalisation .....	16
5.8. Fissures de soudage .....	16
5.9. Soudage de matériaux différents .....	16 + 17
5.10 Soudure pratiquée à proximité de résine ou de céramique .....	17
5.11 Réglage de la fréquence .....	17
5.12 Soudures au laser dans le domaine de l'orthodontie et de l'orthopédie dento-faciale .....	18 - 22
5.13 Exemples d'application en prothèse dentaire .....	23

# Instructions pour les travaux de prothèse dentaire

## Dentaurum Laser dentaire desktop Compact

### 1. Remarques préliminaires

Utilisé pour la réalisation de soudures pour prothèses dentaires, le laser travaille dans le spectre infrarouge. Cet appareil a pour effet, de concentrer la chaleur à l'endroit même de la soudure, là où le métal doit être porté au point de fusion.

### 2. Avantages de la soudure au laser

L'usage de plus en plus répandu du laser dans le domaine de la prothèse dentaire découle directement des nombreux avantages qu'il offre, tels que:

- la possibilité de travailler de façon plus rationnelle, d'où un énorme gain de temps
- une technique de soudure sans brasure, résistante à la corrosion
- une soudure à la structure homogène
- une soudure extrêmement résistante aux contraintes mécaniques
- une zone affectée thermiquement réduite au maximum, d'où moins de tensions
- la possibilité de travailler à proximité de la céramique ou de la résine
- la possibilité de réaliser, sans problème, liaisons, modifications et réparations
- la possibilité de travailler avec pratiquement tous les alliages dentaires et le titane.

Avec ses lasers dentaires, Dentaurum met à la disposition des prothésistes des appareils permettant de tirer parti, de façon optimale, de tous les avantages de la technique de soudure au laser en laboratoire, car il s'agit d'appareils spécialement mis au point pour répondre aux besoins spécifiques de ce domaine particulier que représente la prothèse dentaire. De tels outils intègrent, à la fois, technique moderne du laser, sécurité, ergonomie orientée vers l'utilisateur et simplicité d'utilisation, le tout dans des dimensions extrêmement compactes.

### 3. Propriétés des matériaux et soudabilité (au laser)

#### 3.1 Propriétés physiques

Chaque métal et alliage dentaires, du fait des propriétés différentes (comme, par exemple, le point de fusion et la conductibilité thermique) des matériaux qui les composent, exigent une impulsion spécifique.

Le tableau suivant fournit les caractéristiques physiques essentielles de quelques métaux de base, ou entrant dans la composition d'alliages, importants en prothèse dentaire:

Métal de base	Conductibilité thermique (en W/mK)	Capacité thermique spécifique (par 1 g en J/gK)	Densité P (en g/cm <sup>3</sup> )	Capacité thermique spécifique (par cm <sup>3</sup> en J/cm <sup>3</sup> K)	Point de fusion (en °C)
Au	316	0,125	19,19	2,399	1064
Pd	75	0,244	12,02	2,933	1554
Ag	418	0,460	10,49	4,825	960
Cu	393	0,385	8,96	3,450	1083
Zn	113	0,380	7,14	2,710	419
Co	100	0,422	8,90	3,907	1493
Ni	92	0,439	8,90	3,907	1455
Cr	67	0,460	7,19	3,309	1890
Ti	22	0,523	4,51	2,395	1668

(Cf., notamment, H. Kappert, « Titan als Werkstoff für die zahnärztliche Prothetik und Implantologie » – Le titane et ses applications en prothèse dentaire et implantologie –, DZZ 49, 1994/8)

L'importance des caractéristiques physiques prend toute sa valeur au vu de la réflexion suivante:

Une **conductivité thermique** faible concentre l'énergie émise par le laser à l'endroit de la soudure; avec la soudure au laser, cette « caractéristique » est donc un point fort.

**Les métaux ou alliages à faible conductivité thermique, tels que le titane ou les alliages cobalt-chrome, nécessitent des énergies de soudage plus faibles que les métaux ou alliages à forte conductivité thermique, comme par exemple les alliages à base d'or.**

La capacité thermique spécifique indique la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer d'1 K (= 1 °C) 1 g du matériau à souder.

Avec la soudure au laser, on bénéficie d'une précision plus grande en considérant le volume; c'est donc la densité (= poids spécifique ou masse par cm<sup>3</sup>) qui doit être prise en compte.

En combinant les deux (capacité thermique spécifique, densité), on obtient l'énergie nécessaire pour chauffer de 1 K 1 cm<sup>3</sup> du matériau considéré.

### 3.2 Etat de surface du métal

Sur le plan optique, les rayons laser se comportent comme des rayons lumineux. Les surfaces brillantes sont susceptibles de réfléchir une grande partie du rayon laser, ce qui diminue l'énergie disponible pour la soudure. C'est pourquoi il est recommandé de les sabler. L'on notera que les métaux à fort pouvoir réfléchissant, tels que l'or, exigent plus d'énergie lors de leur soudage.

### 3.3 Composition des alliages

La composition des alliages exerce, elle aussi, une influence sur la qualité de la soudure au laser :

#### Alliages à base de métaux précieux

Généralement, les alliages à base de métaux précieux présentent une bonne soudabilité au laser. Cependant, les composants de ces alliages, présentant une pression de vaporisation élevée, peuvent par de fortes réactions (vaporisation), exercer une influence négative sur l'opération de soudage. Cela concerne en particulier les alliages à forte teneur en zinc (à partir d'env. 2 %).

Les alliages à forte teneur en argent (à partir d'env. 20 %), ainsi que les alliages or/titane, peuvent également exercer une influence négative sur la soudabilité (au laser).

Néanmoins, tous les alliages à base d'or ou de métaux précieux peuvent être soudés au laser.

#### Métal (titane) et alliages exempts de métaux précieux et métaux non précieux

##### Titane

Sous sa forme pure, le titane présente une excellente soudabilité au laser. A noter qu'il est absolument indispensable de travailler sous protection gazeuse, afin d'éviter de fragiliser la soudure suite à une absorption d'oxygène.

##### Alliages CoCr

La soudabilité au laser des alliages CoCr est fonction de leur teneur en carbone. Les alliages CoCr pour couronnes et bridges ne contiennent généralement pas de carbone et ont donc une bonne soudabilité (par exemple remanium® 2000+, remanium® secur).

En ce qui concerne les alliages au CoCr pour châssis métalliques, il faut donner la préférence à ceux à faible teneur en carbone pour éviter toute fragilisation. Idéaux sont des alliages tels que le remanium® GM 900 (exempt de carbone ou le remanium® GM 800+ ou encore remanium® GM 380+ ayant une teneur en carbone de 0,2 %. Avec les alliages au CoCr, le matériau d'assemblage devrait en principe être exempt de carbone, comme par exemple le fil Dentaurum CoCr pour soudure laser  $\varnothing$  0,35 mm REF 528-210-00,  $\varnothing$  0,5 mm REF 528-200-50. Les alliages CoCr, exempts de carbone, pour couronnes et bridges par ex. remanium® 2000+ peuvent également servir de matériau d'apport. Cela permet de souder au laser des alliages à teneur en carbone élevée.

Les fils au CoCr, tels que Redur, Crozat ou Wiptam, **ne conviennent pas** comme matériau d'apport !

Si ces fils doivent être utilisés, en tant que fil de rétention par exemple, la soudure devra être exécutée en utilisant l'un des matériaux d'apport cités précédemment.

### Alliages NiCr

Les alliages nickel-chrome, tel le remanium® CS, présentent aussi une bonne soudabilité au laser. Le matériau d'apport idéal est le fil de soudure NiCr  $\varnothing$  0,5 mm, REF 528-200-00.

### Combinaison de matériaux

Du fait de la multiplicité d'alliages disponibles sur le marché de la prothèse dentaire et des combinaisons que cela permet, il est pratiquement impossible d'en fournir une liste détaillée. Pour plus de précisions, veuillez vous adresser au fabricant d'alliages.

Quant au tableau ci-dessous, il récapitule les combinaisons d'alliages qui, selon notre expérience, présentent des qualités de soudabilité plus ou moins grandes (X = bonnes, x = acceptable, – = peu ou pas du tout recommandables):

	CoCr	Au (forte teneur en)	Au (faible teneur en)	PdCu	PdAg	Ti
CoCr	X	X	X	–	–	–
Au (forte teneur en)		X	X	X	x	–
Au (faible teneur en)			X	X	x	–
PdCu				X	x	–
PdAg					x	–
Ti						X

Les indications fournies dans ce tableau reposent sur notre propre expérience et ne peuvent être considérées qu'à titre indicatif lors du choix de combinaisons de matériaux. Elles ne garantissent pas des propriétés telles que la stabilité mécanique et la résistance à la corrosion.

Dans les assemblages de différents matériaux par soudure au laser, il faut toujours tenir compte du risque de corrosion (par exemple, apparition de piles locales). En cas de doute, veuillez vous adresser à votre fabricant d'alliage.

## 4. Concepts de physique appliqués au laser

### Energie d'impulsion

Chaque impulsion laser a une teneur en énergie donnée, appelée énergie d'impulsion. L'énergie d'impulsion est exprimée en joules (ou watts-secondes), par ex., 30 J.

### Puissance d'impulsion

La puissance correspond à l'énergie par unité de temps Elle de temps et s'exprime en J/sec. ou Watts (ou en kiloJoules/sec. ou kiloWatts – abréviation : kW). La puissance d'impulsion indique donc la quantité d'énergie d'impulsion dégagée par unité de temps.

### Tension d'impulsion, durée d'impulsion

Pour pouvoir appeler les énergies et les puissances d'impulsion à l'intérieur d'une très brève période de temps, comme l'exige le soudage laser, il faut disposer d'énergie (électrique) en réserve. Le stockage de cette énergie s'effectue dans un bloc de condensateurs. Le contenu de la mémoire de ce bloc sert d'étalon à l'énergie d'impulsion. Cette énergie peut être appelée pour le soudage via les paramètres de réglage – tension (en Volts) et temps de décharge (en milli-secondes).

Il existe deux façons d'augmenter l'énergie d'impulsion appelée: soit en augmentant la tension tout en maintenant la durée d'impulsion constante, soit en augmentant la durée d'impulsion tout en maintenant la tension constante.

Un prélèvement de la même quantité d'énergie d'impulsion en un temps plus bref accroît la puissance d'impulsion. Cette même énergie, disponible dans un temps plus court, équivaut à une puissance plus forte.

### Focale

Le réglage de la focale permet de régler le diamètre du rayon laser au niveau du point d'impact. Il peut au choix être diminué ou augmenté.

Il faut maintenant considérer le concept de « densité d'énergie », qui fait référence à l'énergie appliquée à une surface et s'exprime, par ex., en J/cm<sup>2</sup>. Le diamètre du rayon laser engendre, sur la pièce à souder, une surface en forme de cercle, sur laquelle se répartit l'énergie dudit rayon. Une diminution de ce diamètre provoque celle de la surface et, de ce fait, pour même quantité d'énergie transmise, celle-ci présente une densité plus élevée.

## 5. Mode opératoire pour les soudures au laser en prothèse dentaire

### 5.1 Propriétés des alliages

Comme déjà décrit au Chapitre 3.3, les alliages utilisés en prothèse dentaire ont des caractéristiques différentes, qui, d'une part, exercent une influence sur la qualité de la soudure au laser et, d'autre part, exigent des énergies de soudage très différentes (ces dernières étant largement fonction de la conductibilité thermique et du pouvoir de réflexion desdits alliages).

En revanche, contrairement à ce qui se passe dans le « brasage », l'énergie nécessaire au soudage au laser n'est pas directement fonction de la température de fusion de l'alliage considéré.

Par exemple, un alliage à base de métaux précieux et à point de fusion bas a besoin, dans ce dernier cas, d'une énergie de soudage beaucoup plus élevée qu'un alliage CoCr ou que le titane, dont les températures de fusion sont beaucoup plus élevées.

Pratiquement tous les alliages dentaires classiques sont soudables au laser mais avec des résultats variables en matière de résistance et de comportement aux projections.

C'est pourquoi tous les alliages utilisés habituellement dans les laboratoires de prothèse dentaire doivent préalablement (c.-à-d. avant toute opération de soudage au laser) être comparés entre eux afin de pouvoir tenir compte (lors de celle-ci) de leur comportement spécifique en la matière.

Avant de se livrer à des opérations de soudage sur des alliages de composition inconnue, il faut d'abord effectuer un soudage d'essai (détermination de la résistance et de la profondeur de soudage via la rupture du point de soudure).

### 5.2. Appréciation des surfaces à souder

Lors de la préparation d'une opération de soudage, il est essentiel de tenir compte de la qualité de coulée de la surface à souder. En particulier en cas de réparations, la surface de soudure doit être évaluée en l'examinant sous le microscope de l'appareil de soudure au laser.

**Les plus gros défauts pour une soudure sont:**

- une structure brute de coulée avec retassures,
- des taches sombres sur la surface de soudure (formation de carbures),
- des résidus de brasure au niveau de l'interface.

En présence de l'un de ses défauts, la surface à souder doit être préparée (meulage) de façon à disposer ensuite d'un matériau de base impeccable. Le cas échéant, il faudra ôter un morceau de métal plus conséquent.

Du fait qu'elles brillent, les surfaces métalliques réfléchissent une partie de la lumière émise par le laser. C'est pourquoi elles doivent être dépolies par sablage ou meulage (utiliser des pointes abrasives).

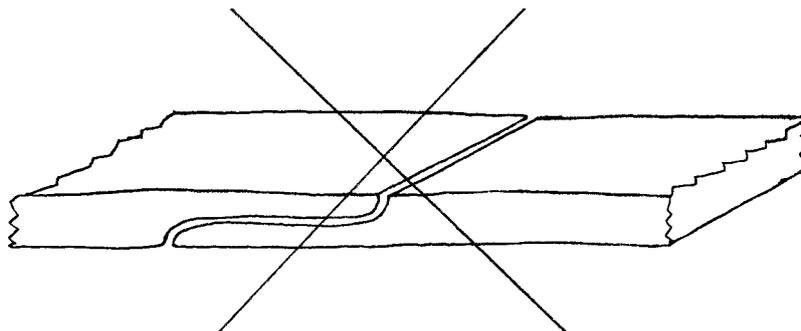
## 5.3. Préparation des emplacements de soudage

### 5.3.1 Préparation d'un contact bout à bout

Si la soudure au laser diffère de la brasure, c'est essentiellement eu égard aux travaux préparatoires.

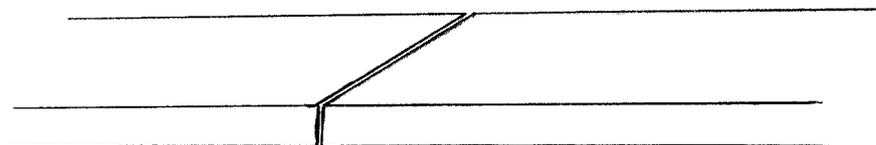
Le recouvrement des pièces à assembler, classique dans le brasage, où il sert à augmenter la surface de brasage, est contre-indiqué dans la soudure au laser.

**Préparation de brasure :**



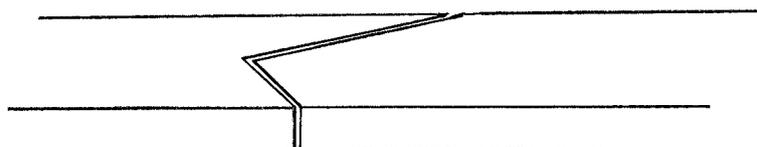
Dans la soudure au laser, l'on recherche toujours un contact de surface bout à bout, permettant de travailler par-dessus comme par-dessous.

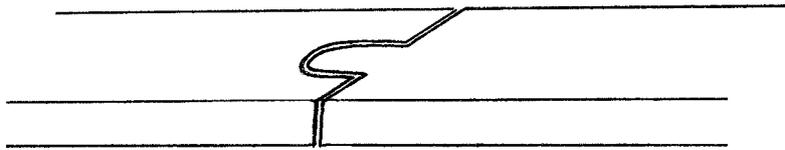
**Préparation de soudure au laser :**



La surface de contact peut être agrandie en cas de contraintes accrues ou en présence d'alliages posant des difficultés de soudage.

**Exemples :**





Quelle que soit la forme des surfaces en contact, il doit toujours être possible de pratiquer un soudage orienté dans la même direction depuis la face opposée. Ce n'est qu'ainsi que les éventuelles tensions peuvent être compensées.

### 5.3.2 Qualité du contact bout à bout

Plus le travail de soudage doit être ajusté, plus la préparation du contact bout à bout doit être précise.

Certes, le rayon laser est capable de supprimer un intervalle allant jusqu'à 0,2 mm; néanmoins, les deux parties ainsi soudées seront contractées .

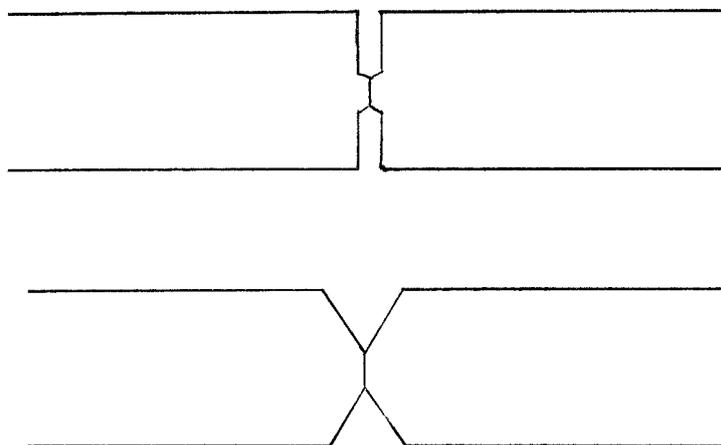
#### Attention !

Plus la précision d'ajustage exigée est grande, plus il faut veiller à ce que l'ensemble de la surface de contact soit bien ajustée (aucun intervalle).

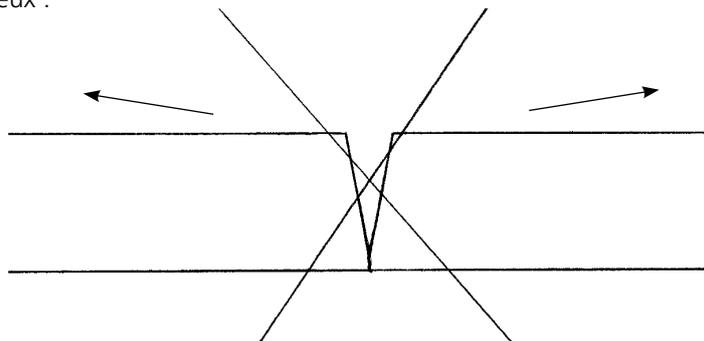
### 5.3.3 Contact bout à bout central

Dans la pratique, il est souvent difficile de créer un contact bout à bout parfaitement régulier sur l'ensemble de la surface à souder ; du moins, faut-il s'efforcer de préparer un contact bout à bout central

Préparations possibles :



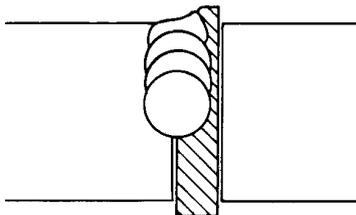
Contact de choc défectueux :



Ici, l'on aura automatiquement une déformation de la soudure au laser, du fait d'une plus forte contraction au niveau de la soudure supérieure, en raison de l'intervalle plus grand entre les deux parties à souder.

### 5.3.4 Intervalle de soudage plus large

Lorsque l'intervalle entre les parties à souder est large, il faut commencer par insérer du matériau de même type entre elles et ne souder d'abord que d'un côté. Ce n'est qu'ensuite qu'est réalisée la soudure de solidarisation proprement dite.



## 5.4 Matériau d'apport pour soudure

Pour obtenir une solidarisation par soudure au laser de grande qualité, il est essentiel de faire appel au matériau d'apport approprié.

### 5.4.1 Matériau d'apport prêt à l'emploi pour soudure

Si le matériau d'apport pour soudure se présente sous forme de tiges, la dimension idéale de ces dernières se situe entre 0,35 mm et 0,5 mm de section.

Dentaurum fournit le matériau approprié suivant :

<b>CoCr</b>	fil pour soudage au laser	ø 0,35 mm	dépolie	REF 528-200-50
		ø 0,5 mm	dépolie	REF 528-210-00
<b>Titane</b>	fil pour soudage au laser	ø 0,4 mm		REF 528-039-50
		ø 0,7 mm		REF 528-040-50
		ø 1,0 mm		REF 528-041-00
		ø 1,2 mm		REF 528-042-00
<b>Titan laminé</b>		0,25 mm x 3,0 mm		REF 528-044-00
		0,5 mm x 1,5 mm		REF 528-043-00
<b>NiCr</b>	fil pour soudage au laser	ø 0,5 mm		REF 528-220-00
<b>Métaux précieux (Au-Pt)</b>	DentAurum C4	ø 0,4 mm		REF 102-521-00
	DentAurum B4	ø 0,4 mm		REF 102-531-00
	DentAurum LFC4	ø 0,4 mm		REF 102-541-00

Aujourd'hui, les fabricants d'alliages proposent, eux aussi, la plupart des alliages à base de métaux précieux sous forme de tiges d'apport de faible épaisseur.

### **Attention !**

En principe, le matériau d'apport prêt à l'emploi doit être préféré à du matériau d'apport coulé par vos soins.

#### **5.4.2 Matériau d'apport coulé**

Lorsqu'un alliage n'est pas disponible sous forme de matériau d'apport prêt à l'emploi, vous pouvez le couler vous-même, dans certaines limites toutefois.

Il est en effet très difficile de couler des tiges fines, soit d'un diamètre inférieur à 0,6 mm.

Toutefois, tous les alliages couramment utilisés en laboratoire sont susceptibles d'être coulés, sous forme de tiges de sections différentes (à partir de 0,6 mm et jusqu'à 3,0 mm de diamètre) et de plaquettes d'une épaisseur à peu près équivalente à celle d'un disque de séparation (sinon plus).

Le travail préparatoire de comblement d'un intervalle de soudure s'en trouve beaucoup simplifié.

### **Attention !**

Lors de la coulée de matériau d'apport pour soudure CoCr, l'on fera toujours appel, contrairement au principe consistant à réaliser ledit matériau d'apport dans le même alliage que celui de la soudure, à un alliage exempt de carbone tel que remanium® GM 900, remanium® 2000+ ou remanium® securia.

## **5.5 Préparation de l'appareil de soudage au laser**

Avant de commencer le travail, il faut systématiquement vérifier les éléments suivants de l'appareil de soudage au laser :

### **5.5.1 Propreté du verre de protection de l'objectif**

Projections de métal comme fumée de soudure sont susceptibles de s'accumuler sur le verre de protection de l'objectif ; c'est pourquoi ce dernier doit être nettoyé régulièrement (à l'aide de mouchoirs en papier et d'alcool) et même changé, si nécessaire. Un verre sale affaiblit la puissance du rayon laser, ce qui diminue pour une bonne part l'efficacité de l'opération.

### **5.5.2 Protection de la zone de soudage**

Afin d'empêcher une assimilation incontrôlée d'oxygène lors du protocole de soudage, l'utilisation du gaz réducteur argon est recommandée dans tous les cas. Ce point est particulièrement important lorsqu'il s'agit de titane pur ou d'alliages de titane.

La buse d'argon doit être positionnée à env. 5 mm de la zone à souder (visible en regardant dans le microscope en haut à gauche).

La distance correcte par rapport à l'orifice de sortie de la buse est déterminée à l'aide de la rondelle en titane fournie avec l'appareil.

Utiliser les paramètres de réglage suivants: Tension 270 V, Durée de l'impuls 5 ms. Débit d'argon 8 l/min.

Positionner la rondelle de titane dans la zone de netteté puis régler la buse d'argon le plus près possible en biais au dessus de la zone d'impact.

Avant de déclencher l'impact, effectuer un rinçage préliminaire à l'argon en appuyant sur la pédale et en maintenant la position à demi enfoncée 3 s à 5 s. Appuyer ensuite à fond sur la pédale pour déclencher l'impact. Si la couverture d'argon est optimale, le point d'impact présente une surface argentée brillante. Si la surface est au contraire oxydée, rapprocher la buse du point d'impact et/ou modifier l'angle de celle-ci puis répéter l'opération jusqu'à obtention de l'aspect d'impact souhaité. Ne plus modifier ensuite cette position et la contrôler régulièrement !

**Remarque :** La rondelle de titane marquée d'impacts peut être réutilisée après sablage de sa surface.

## 5.6 Réglage des paramètres de soudage

### 5.6.1 L'opération de soudage en prothèse dentaire

Fondée sur les principaux concepts de physique expliqués au chapitre 4, la « puissance » de soudage de votre appareil de soudage au laser est réglable à l'aide des 4 paramètres suivants:

- la tension
- la durée d'impulsion
- la combinaison tension / durée d'impulsion
- le réglage de la focale

### 5.6.2 La tension

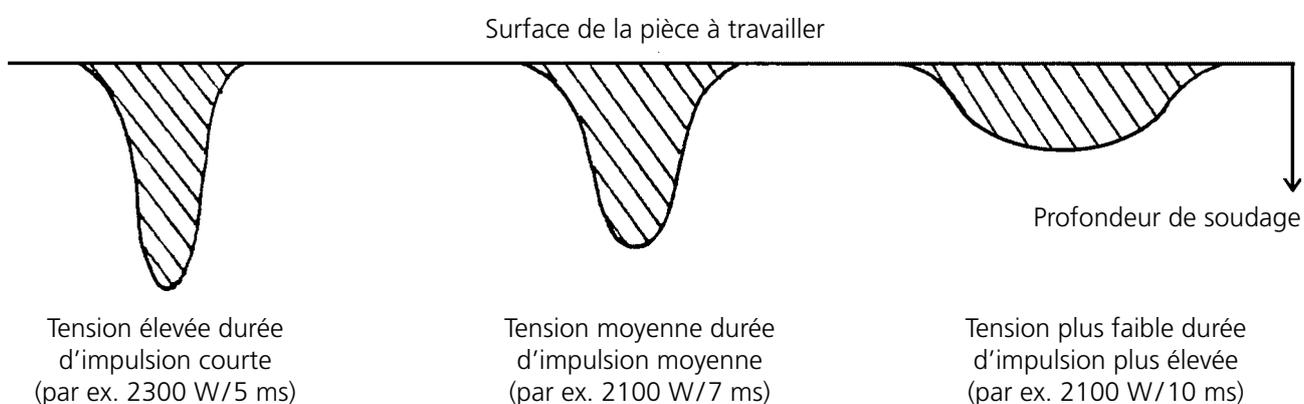
La profondeur de soudage est fonction de la tension. Une augmentation de cette dernière se traduit par une plus grande profondeur de soudage, une diminution par une profondeur de soudage plus faible.

### 5.6.3 La durée d'impulsion

La durée d'impulsion est déterminée par le temps d'influence de l'impulsion laser. (de 0,5 ms à 20 ms). Elle exerce une influence aussi bien sur le diamètre du point de soudure que sur la résistance du cordon de soudure.

### 5.6.4 La combinaison tension/durée d'impulsion

Les paramètres tension et durée d'impulsion sont en corrélation et doivent être réglés en fonction de l'épaisseur du matériau et de sa composition, ainsi que de l'opération de soudure elle-même. En principe, il faut éviter des différences extrêmes dans les paramètres, telles qu'une tension très élevée et une durée d'impulsion très courte, ou inversement. Les rapports entre ces deux paramètres sont illustrés dans le schéma ci-dessous :



Le réglage correct des paramètres de soudage permet d'une part d'assembler solidement des éléments massifs, tels que des barres mandibulaires ou des éléments intermédiaires, puisqu'il est possible de les souder, en opérant bilatéralement et sur des épaisseurs maximales de 4 mm. D'autre part, ledit réglage permet également, en réduisant cette fois la puissance, de pratiquer en toute sécurité des soudures extrêmement fines, comme sur les implants ou les pièces d'attachements.

### Soudure « douce »

Une soudure douce signifie: souder avec une durée prolongée et une tension diminuée. Une jonction, réalisée par ex. avec les paramètres 2400 W/12 ms (soudure douce) présentera une meilleure structure, à la stabilité plus élevée, qu'une jonction réalisée avec une tension plus élevée et une durée moindre, tout en présentant une profondeur égale.

Si la situation de l'impact autorise un diamètre plus étendu, ce type de réglage est à privilégier.

Si l'épaisseur des pièces le permet et en fonction de l'alliage, on travaillera avec des durées d'impulsion d'env. 10 ms. Ainsi par ex. pour les alliages CoCr pour châssis métalliques une durée de 8 ms à 10 ms sera choisie.

La tension sera réglée en conséquence, diminuée si nécessaire.

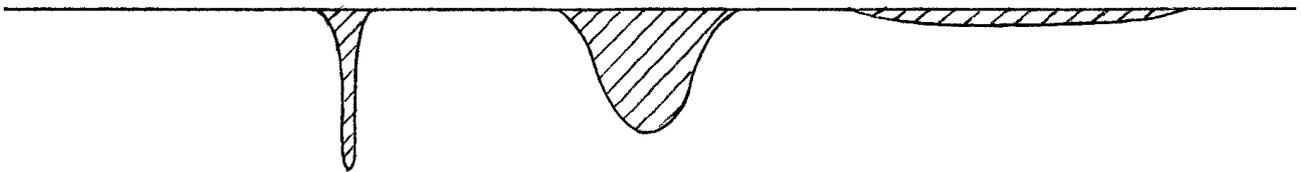
### 5.6.5 Le réglage de la focale

On peut faire varier le diamètre du rayon laser de 0,2 mm à 2,0 mm au niveau de son impact en modifiant le réglage de la focale. Un faible diamètre permet de pratiquer des soudures ponctuelles dans des endroits très étroits, un grand diamètre des soudures étalées.

Un foyer très étroit place le rayon laser en position de perçage. En règle générale, cela entraîne des projections de matériau incontrôlées et une mauvaise résistance de la soudure.

Un foyer très large ne fait fondre le métal qu'en surface. Une soudure en profondeur est, de ce fait, impossible à obtenir, en revanche une égalisation ou même un polissage sont alors parfaitement réalisables.

Le diamètre idéal de la focale pour une soudure se situe aux alentours de 0,6 mm à 0,8 mm. Ces valeurs peuvent être modifiées au cas par cas.



## 5.7 Déroulement de l'opération de soudage

Une fois toutes les mesures préparatoires décrites dans les Chapitres 5.1. à 5.6 exécutées, l'opération de soudage proprement dite peut commencer.

### 5.7.1 Contrôle et estimation de la profondeur globale de soudage

Avant la fixation sur le modèle en plâtre, on estime la profondeur globale de la soudure à réaliser.

On détermine un paramètre de soudure correspondant à l'alliage utilisé, à l'intervalle qui existe encore éventuellement entre les deux parties à souder et à la profondeur de soudure trouvée après estimation.

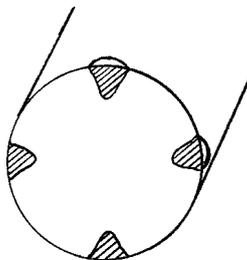
### 5.7.2 Soudure de fixation

Pour réaliser une soudure exempte de déformation, la détermination adéquate des points de soudure joue un rôle aussi important qu'un travail préparatoire impeccable.

#### Le principe est le suivant :

Plus l'énergie de soudage utilisée est faible, plus le risque de déformation est limité.

C'est pourquoi la pièce à souder est d'abord fixée au modèle à l'aide d'une soudure dite de fixation.



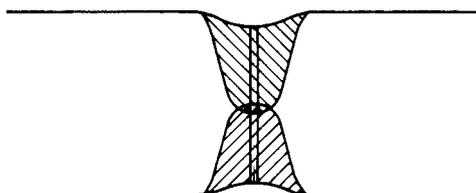
Comme illustré sur la figure ci-dessus, l'on commence par réaliser, à faible énergie, quatre points de soudure placés les uns en face des autres. Selon l'application considérée, la profondeur de soudure se situe entre 0,15 mm et 0,3 mm.

Dans la mesure du possible, les premiers points de soudure sont toujours effectués là où l'on a, manifestement, le meilleur contact de surface. Le travail est ensuite ôté du modèle et l'on vérifie qu'il n'existe pas de tensions.

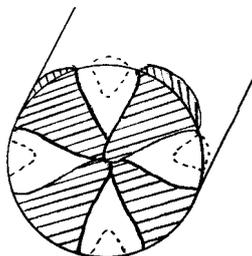
### 5.7.3 Soudage en profondeur

On pratique ensuite l'opération de soudage proprement dite (ou soudage en profondeur), en travaillant en diagonale par rapport aux points de fixation et en faisant appel à l'énergie de soudage correspondant à la profondeur du soudage à réaliser.

Il faut veiller à ce que l'opération soit bien pratiquée en opposition et des deux côtés, avec recouvrement partiel des cônes d'impact.



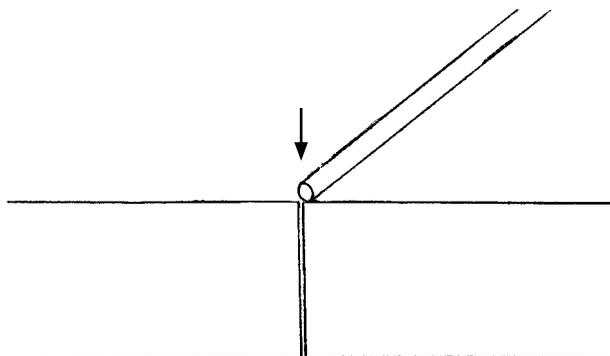
Après la pose, en vis-à-vis, des 4 points de soudure en profondeur, on peut également souder les intervalles encore libres.



#### 5.7.4 Soudage en profondeur avec matériau d'apport

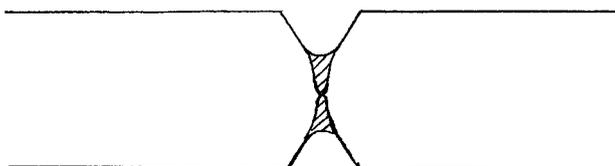
Dans de nombreux travaux de soudage, il est intéressant, d'introduire du matériau d'apport approprié (de 0,35 mm à 0,5 mm de  $\varnothing$ ) dans l'intervalle de soudure au cours même de l'opération de soudage en profondeur. Ce qui permet simultanément de compenser, le matériau manquant.

C'est particulièrement important avec les alliages posant des difficultés de soudage car cela permet souvent d'améliorer la qualité de la soudure. Lors du soudage d'alliages CoCr pour coulées sur modèles, il faut toujours introduire une tige d'apport CoCr pour soudure au laser exempte de carbone dans l'intervalle de soudure.

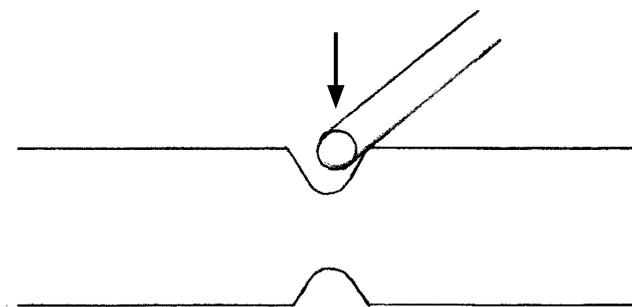


#### 5.7.5 Soudage en X

Une préparation avec contact bout à bout central permet généralement de travailler avec des énergies de soudage faibles.



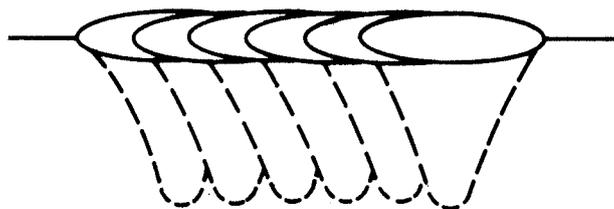
On commence par souder le centre de la surface de contact.



Le matériau d'apport, choisi dans le même alliage (tige de 0,35 mm à 0,5 mm de  $\varnothing$ ), est soudé tout autour de la gorge ; pour ce faire, on utilise une faible énergie de soudage. Lors de cette opération, on accumule autant de matériau que nécessaire pour atteindre, au moins, la section globale du matériau d'origine.

### 5.7.6 Cordon de soudure

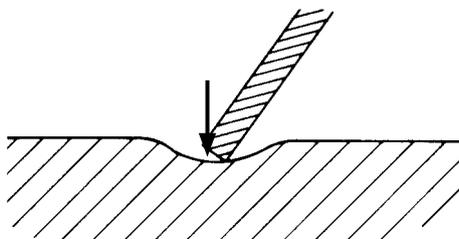
Les cordons de soudure sont recouverts, au niveau de chaque point de soudure, sur un diamètre d'environ les 2/3, afin que la soudure soit parfaitement achevée aussi en profondeur.



### 5.7.7 Dépôt de matériau

En cas de strictions au niveau du cordon de soudure ou si l'on souhaite renforcer la pièce (par ex. au niveau des points de contact), l'on soudera du fil d'apport de la finesse correspondante.

L'impact laser est orienté sur l'extrémité du fil d'apport, de manière à en projeter une goutte sur la zone à renforcer. Pour ce faire, on réglera le laser légèrement plus « bas », autrement dit avec une tension plus faible et durée d'impulsion plus longue.



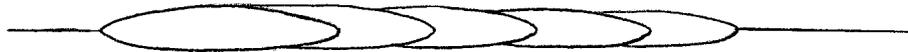
### 5.7.8 Orientation du rayon laser

En règle générale, l'objet est placé perpendiculairement à l'axe du rayon laser. Le trajet du rayon de la lumière laser correspond à l'angle de vision de l'opérateur (à travers le microscope). En orientant la direction du rayon de biais sur l'objet, le métal fondu en surface est « poussé » dans l'axe du rayon. C'est ainsi que l'on peut, en cas de besoin, « pousser » du matériau dans une direction souhaitée.

### 5.7.9 Egalisation

Une fois réalisé, un cordon de soudure peut être égalisé grâce à la focale variable (élargissement).

Le diamètre du foyer est fortement agrandi et l'énergie répartie sur cette surface. De cette façon, seule la surface entre en fusion et l'on réalise un soudage étalé.



## 5.8 Fissures de soudage

Quelques alliages, difficiles à souder, ont tendance à former des fissures au niveau du cordon de soudage.

Généralement, ces fissures n'apparaissent qu'après la réalisation de quelques points de soudure et ne sont visibles qu'au microscope. Elles sont synonymes d'une forte diminution de la résistance du cordon de soudage et sont donc impérativement à proscrire.

Elles seront évitées grâce à une préparation adéquate de la surface d'impact et à l'utilisation de matériau d'apport approprié. Ce matériau d'apport peut, le cas échéant, être dans un autre alliage que celui à souder (par ex., un alliage palladium-argent, difficilement soudable, peut voir ses propriétés de soudage au laser améliorées par du matériau d'apport sous forme de tige d'or).

## 5.9 Soudage de matériaux différents

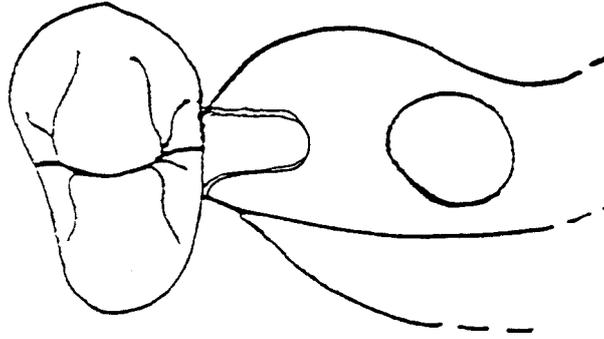
Lorsqu'on soude ensemble deux alliages différents, il y en a toujours un qui exige plus d'énergie de soudage que l'autre, et c'est sur lui que doit être dirigé la majeure partie de l'énergie.

Par exemple, lors de l'assemblage par soudage d'un alliage à base d'or et d'un alliage à base de CoCr, c'est le premier qui recevra ce surplus.

Lors du soudage de couronnes télescopes à base de métaux précieux avec un alliage de châssis métallique, il est recommandé d'ajouter un appendice à la couronne, afin de s'assurer des soudures stables et exemptes de tension.

**Recommandation** : ergot conique pour soudure au laser REF 111-901-00.

L'objectif est un ajustement aussi parfait que possible (sans le moindre espace) entre l'appendice de la couronne et le châssis métallique. Pour ce faire, pratiquer la soudure au laser avec du fil au CoCr ou sans apport de matériau supplémentaire. En cas de contact approximatif entre la couronne et le châssis métallique, travailler systématiquement avec du fil d'or comme matériau d'apport. Souder séparément chaque partie secondaire d'une prothèse combinée, afin de garantir un meilleur ajustement de l'ensemble. Pratiquer des points de soudure, en opérant de chaque côté à tour de rôle, et souder alternativement à partir d'en haut et à partir d'en bas.



## 5.10 Soudure pratiquée à proximité de résine ou de céramique

Les soudures réalisées à proximité de pièces en résine ne posent pas de problème; il en va de même de celles réalisées près de coiffes en céramique; l'idéal, toutefois, serait la présence d'un dégagement céramique d'env. 1 mm de largeur.

Pour éviter l'effet d'une chaleur trop élevée, les différents points de soudure devraient être pratiqués selon un intervalle de temps plus grand.

## 5.11 Réglage de la fréquence

L'appareil de soudage au laser fonctionne aussi bien avec des impulsions uniques (0 Hz), qu'avec des impulsions enchaînées à fréquence réglable. En règle générale, même un opérateur chevronné ne devrait pas sélectionner une fréquence d'impulsion supérieure à 3 Hz. Autrement dit trois points de soudure par seconde, rythme que la main a énormément de difficultés à suivre. Avec un réglage sur 1 Hz, on peut aussi bien travailler, en appuyant en permanence sur la pédale, avec des impulsions à enchaînement lent, qu'en relâchant la pédale et avec des impulsions uniques.

## 5.12 Soudures au laser dans le domaine de l'orthodontie et de l'orthopédie dento-faciale

Tableau de soudage pour les appareils à souder au laser de Dentaureum

### Recommandations essentielles pour l'utilisation du tableau de soudage :

1. Le soudage de petites pièces et d'appareils d'orthopédie dento-faciale exige, en général, les mêmes conditions et préparations que celles déjà connues dans la technique de la soudure au laser en général.
2. Une préparation précise et sans faille des parties à souder est la condition essentielle du succès d'une soudure de parties parfois très épaisses (par ex., des fils) avec des parties très fines (par ex., des bagues).
3. Pour pouvoir travailler de façon efficace en orthopédie dento-faciale, les parties à souder doivent être préparées de façon à se trouver côte à côte dans un même plan. Les pièces industrielles, toujours semblables, telles que l'écrou de la charnière de Herbst® ou la base de tubes vestibulaires, doivent de ce fait être retravaillées, à l'aide de petites pointes abrasives, de telle sorte qu'elles jouxtent les bagues de tailles et de formes différentes dans le même plan. Ce n'est qu'ainsi que ces pièces peuvent être reliées directement entre elles sans matériau d'apport pour la soudure.
4. Si l'emplacement de contact entre bague et fil n'est que ponctuel ou s'il y a même un faible espace entre les deux, il faut travailler avec un matériau d'apport pour fusion approprié, tel que le fil remanium®,  $\varnothing$  0,35 mm.
5. Généralement, toutes les soudures au laser devraient se faire en atmosphère sous gaz inerte (argon) pour empêcher une oxydation au niveau du cordon de soudure. Ce qui a un effet positif sur la stabilité de ce dernier. Les points de soudure doivent, en principe, briller d'un éclat métallique.
6. Les pièces utilisées en orthopédie dento-faciale présentent souvent une surface métallique brillante. Cela peut provoquer la réflexion du rayon laser. En raison du long et pénible travail que cela provoque ultérieurement, l'on renonce en général dans ces cas-là au sablage des parties à souder avec du corindon. Pour obtenir néanmoins le résultat de soudage souhaité, il peut être nécessaire de faire varier l'angle d'incidence du rayon laser sur le point de liaison. La puissance de soudage doit être adaptée aux données spécifiques. Dans le cas normal, la puissance est augmentée et l'angle d'incidence du rayon laser choisi de telle sorte que ce dernier soit guidé de la partie la plus épaisse vers la partie la plus fine.
7. Les paramètres indiqués dans le tableau de soudage suivant s'appuient sur l'expérience acquise en technique d'application Dentaureum avec les produits Dentaureum pour l'orthodontie et l'orthopédie dento-faciale.

## Tableau de soudage pour appareils de soudage au laser Dentaureum

### Domaine d'utilisation : orthodontie / orthopédie dento-faciale

N°	Tâche	Matériaux recommandés	Paramètres de soudage		
			Tension (en watt)	Durée de pulsation (en ms)	Réglage de la focale
1 2	Confection d'une charnière de Herbst®	a) Charnière de Herbst® I Bagues molaires supérieures/ inférieures Bagues prémolaires supérieures/ inférieures	1800 - 1950	1,0 - 3,0	0,8
		b) Charnière de Herbst® IV Bagues molaires supérieures/ inférieures Bagues prémolaires supérieures/ inférieures	1900 - 1950	1,0 - 3,0	0,8
3	Confection d'un appareil pour disjonction de la suture palatine	Vis Hyrax®, bagues molaires supérieures, bagues prémolaires supérieures, fil remanium® dur élastique x 0,9 mm ou 1,0 mm			
	Étape 1	Fil ø 1,0 mm pour bague	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
	Étape 2	Bras de rétention sur fil ø 1,0 mm	1950 - 2100	2,0 - 3,0	0,8
	Étape 3	Renforcer avec fil ø 0,35 mm	1900 - 2000	2,0 - 3,0	0,8 - 1,0
4	Souder Quad Helix sur les bagues	Quad Helix pré-formé Bague molaire supérieure/inférieure	1800 - 1850	1,0 - 2,0	0,8
5	Confection d'un dispositif individuel de maintien d'espace	Fil remanium®, ø 0,8 mm Bague molaire supérieure/inférieure	1800 - 1850	1,0 - 2,0	0,8
6	Confection d'un arc lingual/palatin soudé aux bagues	Arc lingual/palatin Orthorama® Fil remaloy® ø 0,9 mm Fil remanium®, dur élastique ø 0,9 mm bagues molaires inf.	1900 - 2000	2,0 - 3,0	0,8
7	Soudage d'un fourreau lingual/palatin à une bague	Fourreaux linguaux/palatins Bagues molaires supérieures/inférieures	1800 - 1900	2,0 - 3,0	0,8
8	Confection d'un appareillage Crozat				
	Étape 1	Fils remaloy® ø 0,7 mm à 1,5 mm ou	1950 - 2100	2,0 - 3,0	0,8
	Étape 1	Fils remanium®, dur élastique ø 0,7 mm à 1,5 mm	1950 - 2100	2,0 - 3,0	0,8
	Étape 2	Renforcer avec fil ø 0,35 mm	1900 - 2000	2,0 - 3,0	0,8
9	Confection d'un appareillage Nance	Fil remaloy® ø 0,9 mm sur bagues molaires supérieures	1900 - 2000	2,0 - 3,0	0,8
		Fil remanium® ø 0,9 mm	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
10	Soudage d'un crochet pour élastiques sur arc facial ou écran labial				
	Étape 1	Crochet-boule ø 0,7 mm	1800 - 1950	1,0 - 3,0	0,8
	Étape 2	Renforcer avec fil ø 0,35 mm	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8

## Tableau de soudage pour appareils de soudage au laser Dentaureum

### Domaine d'utilisation : orthodontie / orthopédie dento-faciale

N°	Tâche	Matériaux recommandés	Paramètres de soudage		
			Tension (en watt)	Durée de pulsation (en ms)	Réglage de la focale
11	Soudage d'une butée sur un arc rond ou de section carrée ou rectangulaire – acier inoxydable !	Tube de butée, fendu sur arc rond	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
		sur arc de section carrée ou rectangulaire	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
12	Soudage d'un crochet pour élastiques sur un arc rond ou de section carrée ou rectangulaire	Crochet préformé ou crochet-boule $\varnothing$ 0,7 mm sur arc rond	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
		sur arc de section carrée ou rectangulaire	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
13	Soudage d'un tube en croix sur un arc rond ou de section carrée ou rectangulaire – acier inoxydable !	Tube en croix sur arc rond	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
		sur arc de section carrée ou rectangulaire	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
14	Soudage de tubes ronds sur crochets ADAM pour mise en place d'un arc facial	Tubes – acier inoxydable $\varnothing$ 1,2 mm par ex.	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
15	Fabrication individuelle d'une rétention à coller Confection d'une rétention linguale individuelle	Fil remaloy® $\varnothing$ 0,7 mm Base à treillis, petite	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
16	Fabrication individuelle d'un crochet sur bague ou bracket à coller/tubes vestibulaires	Crochet-boule 0,7 mm	1800 - 1900	1,0 - 2,0	0,8
17	Confection d'un « ergot Kahn » sur un arc facial				
	Étape 1	Fil remanium® $\varnothing$ 0,9 mm, bout à bout	1900 - 2000	3,0 - 5,0	0,8
	Étape 2	Renforcer avec fil $\varnothing$ 0,35 mm	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
18	Confection d'un crampon à coller sur arc lingual				
	Étape 1	Fil remanium® $\varnothing$ 0,9 mm sur base à treillis	1800 - 1850	1,0 - 3,0	0,8
	Étape 2	Arc lingual et fil remanium® $\varnothing$ 0,9 mm	1900 - 2000	1,0 - 3,0	0,8
	Étape 3	Renforcer avec fil $\varnothing$ 0,35 mm	1800 - 1900	2,0 - 4,0	0,8
19	Confection d'un ressort individuel sur un arc labial	Fil remanium®, $\varnothing$ 0,7 mm, dur élastique	1900 - 2000	1,0 - 3,0	0,8
20	Confection d'un crochet pour élastiques sur masque facial				
	Étape 1	Crochet-boule $\varnothing$ 0,9 mm	1900 - 2000	2,0 - 4,0	0,8
	Étape 2	Renforcer avec fil $\varnothing$ 0,35 mm	1800 - 1900	2,0 - 4,0	0,8
21	Soudage d'un manchon pour vis-poussoir à piston sur un arc labial				
	Étape 1	Manchon moleté	1900 - 2100	2,0 - 4,0	0,8
	Étape 2	Renforcer avec fil $\varnothing$ 0,35 mm	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8

## Tableau de soudage pour appareils de soudage au laser Dentaureum

### Domaine d'utilisation : orthodontie / orthopédie dento-faciale

N°	Tâche	Matériaux recommandés	Paramètres de soudage		
			Tension (en watt)	Durée de pulsation (en ms)	Réglage de la focale
22	Confection d'une rétention supplémentaire sur un écarteur pour un meilleur ancrage dans la résine	Fil remanium® ø 0,9 mm	1800 - 1900	2,0 - 4,0	0,8
23 24	Soudage d'un fil sur un écarteur, en tant que ressort par ex.				
	Étape 1	Fil remanium® ø 0,8 mm, bout à bout	1900 - 2000	3,0 - 5,0	0,8
	Étape 2	Renforcer avec fil ø 0,35 mm ou	1900 - 2000	2,0 - 4,0	0,8
		Fil remanium® ø 0,8 mm – plat	1900 - 2000	3,0 - 5,0	0,8
25	Fabrication d'un appareil d'écartement sans résine	Vis Hyrax®, mini Bagues polaires supérieures/ inférieures	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
26	Réparation d'un arc labial, d'un crochet ADAM				
	Étape 1	Fil remanium® ø 0,7 mm, bout à bout	1900 - 2000	3,0 - 5,0	0,8
	Étape 2	Doubler avec fil ø 0,7 mm	1900 - 2000	2,0 - 4,0	0,8
27	Confection d'une butée sur arc facial/écran labial	Tube de butée ø 1,15 mm	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
28	Confection d'un crochet « Post » sur un arc de section ronde maxillaire + mandibule section carrée ou rectangulaire maxillaire + mandibule – acier inoxydable !	Crochet-boule 0,7 mm	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
29 30	Réparation d'une vis Hyrax® avec bras de rétention cassé				
	Étape 1	Bout à bout	1900 - 2100	3,0 - 5,0	0,8
	Étape 2	Renforcer avec fil ø 0,35 mm ou	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
		Souder à plat	1900 - 2100	3,0 - 5,0	0,8

## Tableau de soudage pour appareils de soudage au laser Dentaureum

### Domaine d'utilisation : orthodontie / orthopédie dento-faciale

N°	Tâche	Matériaux recommandés	Paramètres de soudage		
			Tension (en watt)	Durée de pulsation (en ms)	Réglage de la focale
31	Tube buccal à bague molaire	Bague molaire supérieure/inférieure Tube buccal	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
32	Crochet double sur bague molaire	Bague molaire supérieure/inférieure Crochet lingual/palatinal	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
33	Modification d'un arc palatin, système Orthorama®	Fil remanium®, ø 0,5 mm, dur élastique	1800 - 1900	1,0 - 3,0	0,8
34	Modification par jumelage des vis de rétraction (suivant Geller)	Vis de rétraction	1900 - 2000	3,0 - 5,0	0,8

voir aussi la brochure traitant du soudage laser en orthodontie REF 989-629-10.

## 5.13 Exemples d'application en prothèse dentaire

### Valeurs de réglage de la tension et de la durée d'impulsion

Le tableau suivant fournit une liste des valeurs typiques de réglage de tension et de durée d'impulsion pour les opérations de soudage les plus fréquentes, en fonction des alliages les plus utilisés.

La valeur de référence pour la position du point de focalisation présélectionnée est de  $\varnothing 0,7$  mm.

**En fonction de chaque cas d'application concret et de l'alliage utilisé, ainsi que de l'état de surface, il peut être nécessaire de s'éloigner quelque peu des valeurs indiquées !**

Indication	Combinaison de matériaux					
	Ti (pur)	Co-Cr	Au-Pt	Au-Ag	Au-Pd	Pd-Ag
Barre linguale	2350 W - 2450 W 6,0 ms - 8,0 ms	2400 W - 2500 W 6,0 ms - 8,0 ms	–	–	–	–
Bridge	2300 W - 2400 W 4,0 ms - 6,0 ms	2400 W - 2500 W 6,0 ms - 8,0 ms	2450 W - 2600 W 6,0 ms - 8,0 ms	2450 W - 2600 W 6,0 ms - 8,0 ms	2300 W - 2400 W 6,0 ms - 8,0 ms	2300 W - 2400 W 6,0 ms - 8,0 ms
Petite potence	2300 W - 2400 W 4,0 ms - 6,0 ms	2200 W - 2400 W 6,0 ms - 8,0 ms	–	–	–	–
Crochet	1900 W - 2000 W 2,0 ms - 3,0 ms	2000 W - 2100 W 2,0 ms - 3,0 ms	–	–	–	–
Trou de couronne	1850 W - 1900 W 1,0 ms - 2,0 ms	1900 W - 2000 W 1,0 ms - 3,0 ms	1900 W - 2100 W 2,0 ms - 4,0 ms	1900 W - 2100 W 2,0 ms - 4,0 ms	1900 W - 2000 W 2,0 ms - 4,0 ms	1900 W - 2000 W 2,0 ms - 4,0 ms
Base de châssis	2100 W - 2300 W 4,0 ms - 6,0 ms	2200 W - 2400 W 4,0 ms - 6,0 ms	–	–	–	–
Tige de friction	1900 W - 2000 W 1,0 ms - 2,0 ms	2000 W - 2100 W 1,0 ms - 2,0 ms	–	–	–	–

voir aussi la brochure traitant du soudage laser en prothèse REF 989-818-10.