

PLAN

Introduction	6
Matériels et méthodes	8
I : cadre d'étude	9
II : type d'étude.....	9
III : échantillons	9
VI : Recueil des données :.....	9
V : Méthodes :.....	10
Résultats et analyses :	11
I : aspect épidémiologique :	13
1 : âge.....	13
2 : sexe.....	14
II : contre indication à la piézochirurgie.....	15
III : indication de l'intervention à la piézochirurgie.....	16
IV : durée de l'intervention chirurgicale au piézotome.....	19
V : techniques chirurgicales réalisées à l'aide du piezotome.	20
VI : incident per-opératoire.....	24
1. Incidents per-opératoire :Exérèses osseuses pour les tumeurs du cuir chevelu	24
2. Incidents per-opératoire : ostéotomie bi-maxillaire.....	25
VII. Suites poste opératoire :.....	27
VIII. la durée d'hospitalisation :	28
IX. résultats de la piézochirurgie :	29
1. tumeur de cuir chevelu :.....	29
2. Ostéotomie bi-maxillaire :	30
DISCUSSION :	34
I – La chirurgie piézoélectrique :.....	35
1. Historique :	35

1.1. Apparition de la piézochirurgie :	3536
1.2. Les pionniers	36
2. Principes physiques de la piézoélectricité	36
2.1. Les ultrasons	36
2.2. L'effet piézoélectrique :	38
2.3. Le phénomène de cavitation.....	40
3. Apports des générateurs piézoélectriques	41
3.1. Instrumentation existante	41
3.1.1. Les instruments manuels	41
3.1.2. Les outils de coupes motorisés	42
3.1.3. Les instruments piézoélectriques.....	43
3.2. Sélectivité de l'effet de coupe :	43
3.3. Hémostase.....	44
3.4. Histologie	44
3.5. Evaluation radiologique	48
3.6. Cicatrisation osseuse	48
4. Systèmes disponibles en piézochirurgie	52
4.1. Principes technologiques du bistouri ultrasonore	52
4.2. Piezosurgery® de Mectron®	54
4.3. Piezotome® de SATELEC ®	56
4.3.1. Applications cliniques du Piezotome®	56
4.3.2. Systèmes de contrôle des instruments :	57
4.3.3. Performances	58
4.3.3.1. Mode modulation Piezotome®	58
4.3.3.2. Pièce à main piézoélectrique boostée	58
4.3.4. Instruments d'ostéotomie :	59

4.3.5. Instruments d'élévation de sinus :	65
4.3.6. Instruments de syndesmotomie :	67
4.3.7. Maintenance :	67
4.3.7.1. Décontamination et reconditionnement :	67
4.3.7.2. Instruments et accessoires :	68
4.3.7.3. Générateur :	68
4.4. Surgysonic d'AMTECH :	68
4.4.1. Le générateur :	68
4.5. Piezon Master Surgery [®] de EMS [®]	70
4.5.1. Le générateur	70
5. Indications générales de la piézo-chirurgie :	71
5.1. Applications cliniques en médecine :	71
5.1.1. Application à la chirurgie orthopédique :	71
5.1.2. Application à la chirurgie cranio-faciale :	71
5.1.3. Application à la chirurgie orthognatique :	72
5.1.4. Application aux chirurgies Oto-Rhino Laryngologiques :	77
5.1.5. Autres applications en médecine :	77
5.2. Applications cliniques en odonto-stomtologie :	78
5.2.1 Chirurgie exodontique :	78
5.2.2 Chirurgie endodontique :	78
5.2.3 Chirurgie parodontale :	79
5.2.4 Chirurgie implantaire et pré-implantaire :	79
5.2.5 Autres applications en odontologie	80
5.3. Contre-indications	80
6. Avantages de la chirurgie piézoélectrique :	81
7. Limites d'utilisation :	83

II. Discussions et revue de la littérature :	85
1. l'AGE :	85
2. Le sexe :	85
3. Risque hémorragique :	86
4. Cicatrisation :	86
5. Confort pour le patient :	87
6. Confort pour le pratitien :	88
7. TEMPS OPERATOIRE :	89
Conclusion	90
Résumés	92
Bibliographies	98

INTRODUCTION

L'instrumentation utilisée en chirurgie oro-maxillo-faciale n'a pas connu de réelles innovations au cours des dernières décennies. Une instrumentation rudimentaire a longtemps paru suffisante à la réalisation des interventions en chirurgie maxillo-faciale, en raison du fort potentiel de cicatrisation de la sphère orale et de l'absence de risque vital important.

Cependant, cette instrumentation ne permet pas de travailler avec précision au niveau des maxillaires. La réalisation d'ostéotomie et d'ostéoplastie, en chirurgie osseuse, nécessitait encore récemment l'application peu efficace d'une instrumentation très polyvalente, parfois même dangereuse : scie oscillante, ciseau x à os et marteau, pièce à main et fraise à os....

Néanmoins, l'étroitesse d'accès aux sites chirurgicaux, les difficultés rencontrées par les praticiens et les traumatismes laissés aux patients ne peuvent être ignorés. L'apparition récente de techniques utilisant les ultrasons a permis d'apporter une précision jusqu'alors inégalée et de sécuriser ces actes. La chirurgie piézoélectrique a été développée par des chirurgiens maxillo-faciaux dans le but de répondre à certaines difficultés de leur propre exercice, à partir de technologies piézoélectriques couramment utilisées sous forme de détartreurs ultrasonores. D'abord utilisée pour la réalisation de soulèvements de sinus, la piézochirurgie a élargi sur plusieurs années son champ d'application en odontologie et en médecine.

La chirurgie piézoélectrique, ou piézochirurgie, devient alors un élément important en termes de confort, de sécurité et de précision pour le chirurgien oro-maxillo-faciale.

L'objectif principal de ce travail est d'apporter notre expérience en matière de l'utilité du PIEZOTOME en chirurgie orale et chirurgie maxillo-faciale depuis l'acquisition du piézotome Implacenter en 2 mars 2013, et d'évaluer les avantages et les inconvénients de cette technique en observant les résultats chirurgicaux, et les comparer avec les données de la littérature.

MATERIELS ET METHODES

I. Le cadre d'étude :

Le service de Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale de l'Hôpital militaire Moulay Ismail de Meknès était le siège de la réalisation de notre étude.

II. Type d'étude :

Notre travail est une étude rétrospective colligant 14 dossiers depuis l'acquisition du piézotome Implancenter en 2 mars 2013.

III. Echantillon d'étude :

L'étude que nous avons réalisée, a concerné les patients colligés au service de Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale de l'hôpital militaire Moulay Ismail Meknès qui ont bénéficié d'une piezochirurgie dans divers indications :

- L'ostéotomie bi-maxillaire.
- Exérèses osseuses pour tumeurs de cuir chevelu.
- Un prélèvement osseux calvarial.

IV. Recueil des données :

Le recueil des données a été réalisé rétrospectivement, à partir d'un dossier médical stéréotypé de chaque patient et un questionnaire qui est inclus dans une fiche d'exploitation.

Les patients étaient suivis en consultation par l'équipe de Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale de l'hôpital Militaire Moulay Ismail de Meknès.

Le recueil des données des patients retenus dans notre étude, s'est fait en utilisant :

- Les registres des malades hospitalisés.
- Les comptes rendus opératoires.
- Une fiche d'exploitation comportant :
 - L'identité et l'âge du patient.
 - Les antécédents personnels.
 - L'élimination d'une contre indication à l'utilisation du piézotome : type pace maker.
 - L'indication chirurgicale de la piezochirurgie.
 - La durée de l'acte opératoire.
 - Les Techniques chirurgicales.
 - Les incidents per-opératoires.
 - Les suites postopératoires.
 - La durée d'hospitalisation.
 - Les résultats de la piezochirurgie.

V. Méthodes :

Les données des patients ont été recueillies à partir des dossiers du service de façon rétrospective. Selon une fiche d'exploitation préalablement établie pour chaque patient les données recueillies portent sur :

- Les données épidémiologiques : âge, sexe, antécédents, contre indication au piézotome.
- Les données chirurgicales : indication de l'intervention utilisant le piézotome, durée de l'acte opératoire, les incidents au cours de la chirurgie.
- Les données thérapeutiques : le protocole chirurgical utilisé selon les cas.
- Les données pronostiques : survenue de complications, résultats fonctionnels, résultats esthétiques, résultats anatomopathologique des pièces reséquées.

RESULTATS ET ANALYSES

❖ Présentation des cas :❖ Tableau 1 : Présentation des cas

<u>patient</u>	<u>Age</u>	<u>sexe</u>	<u>Comorbidité</u>	<u>Etiologies</u>
P n °1	50ans	M		Tumeur de cuir chevelu envahissant l'os
P n °2	62ans	F		Tumeur de cuir chevelu envahissant l'os
P n °3	20ans	M		Dysmorphose de classe III
P n °4	20ans	M		Classe III+ endognathie maxillaire
P n °5	19ans	F		Dysmorphose de classe III
P n °6	30ans	F		Dysmorphose de classe III
P n °7	20ans	F		Dysmorphose de classe III
P n °8	23ans	F		Dysmorphose de classe III
P n °9	19ans	F		Dysmorphose de classe III
P n °10	30ans	F		Dysmorphose de classe III
P n °11	17ans	F		séquelle de fente bilatérale
P n °12	19ans	F		séquelle de fente
P n °13	19ans	M		Classe III+ endognathie
P n °14	26ans	M		Séquelle de fracture de l'os zygomatique

I. Aspects épidémiologiques

1. Age :

La moyenne d'âge était de 27 ans avec des extrêmes de 17 ans à 62 ans.

	<u>Nombre</u>	<u>Min</u>	<u>Max</u>	<u>Moyenne</u>	<u>Ecart type</u>
<u>Age</u>	14	17	62	26,71	13,27

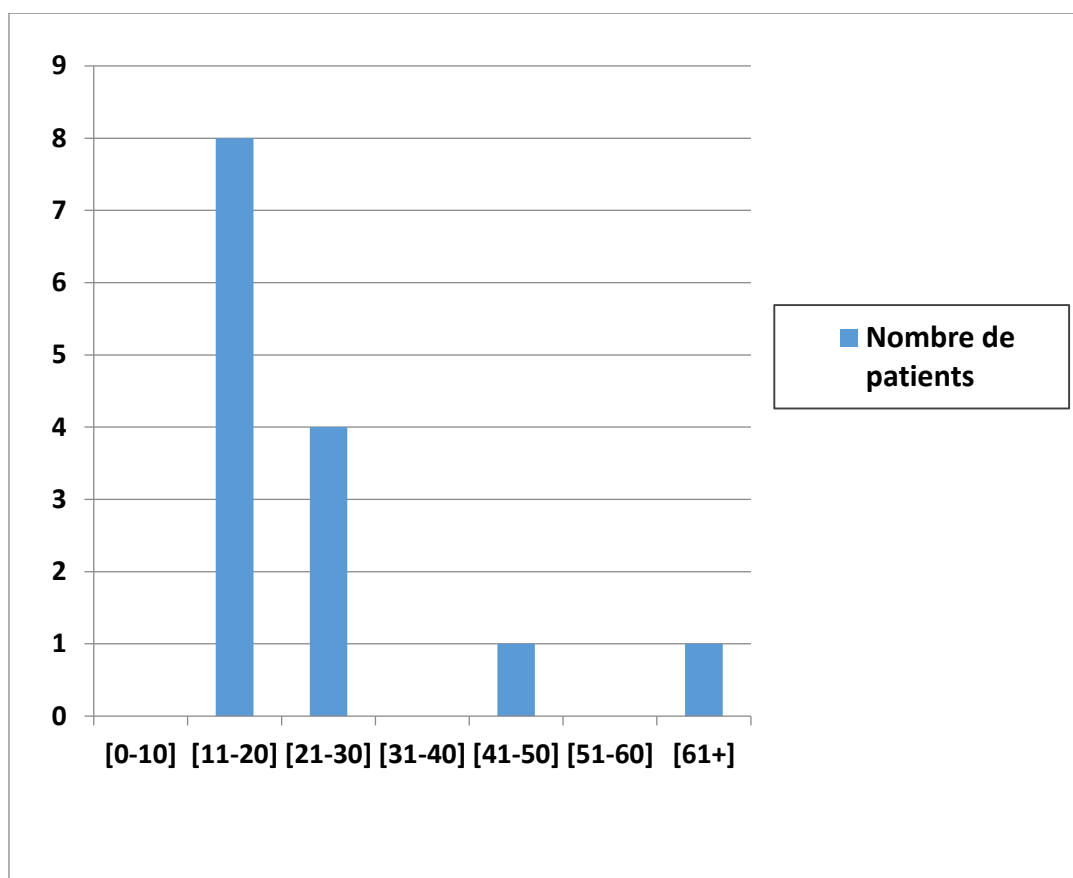


Figure 1 : Répartition des patients selon l'âge.

2. Sexe :

Notre série d'étude comporte 14 patients avec une prédominance féminine dont

- 9 femmes, soit 64%
- 5 hommes, soit 36%

Avec un sexe ratio H/F de 1.8.

	<u>Fréquence</u>	<u>pourcentage</u>	<u>pourcentage valide</u>	<u>pourcentage cumulé</u>
<u>Masculin</u>	5	36%	36%	36%
<u>féminin</u>	9	64%	64%	100%

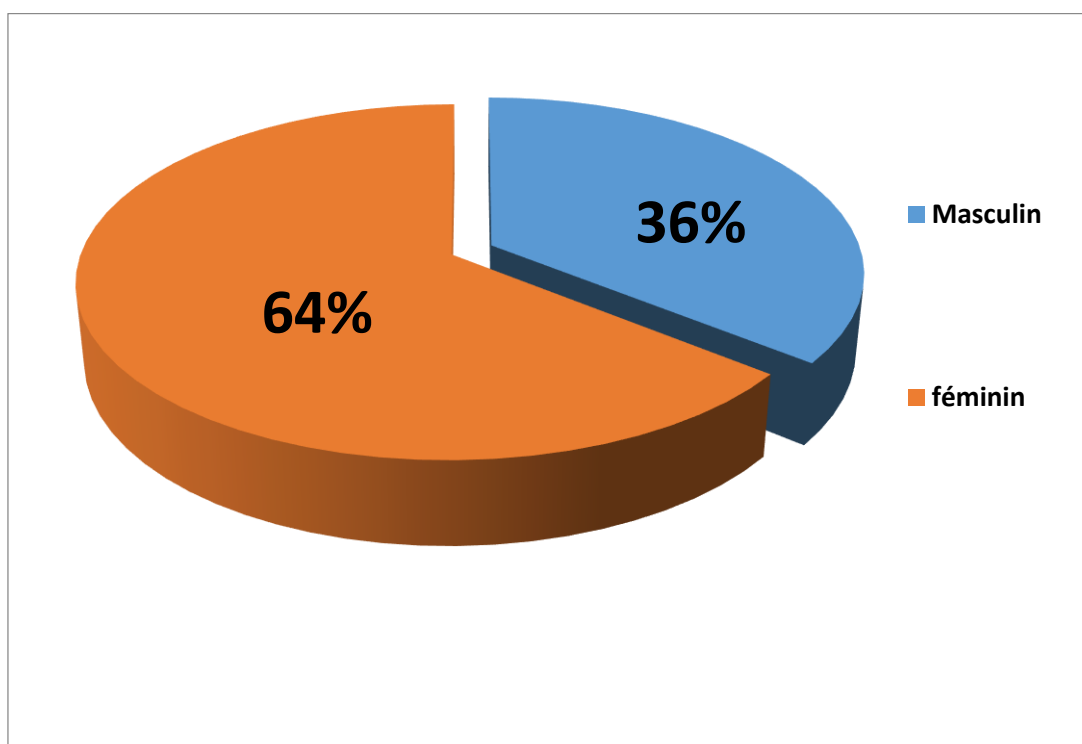


Figure 2 : Répartition des patients selon le sexe.

II. Contres indication à la piezochirurgie :

Patients porteurs de pacemaker ou autre matériel électronique implantable présentent une contre indication majeur à l'utilisation de la piezochirurgie.

Cette contre indication est valable ainsi pour le patient et l'opérateur.

présence de contre indication à la piezochirurgie				
	<u>Fréquence</u>	<u>Pourcentage</u>	<u>Pourcentage valide</u>	<u>Pourcentage cumulé</u>
<u>Oui</u>	0	0%	0%	0%
<u>Non</u>	14	100%	100%	100%

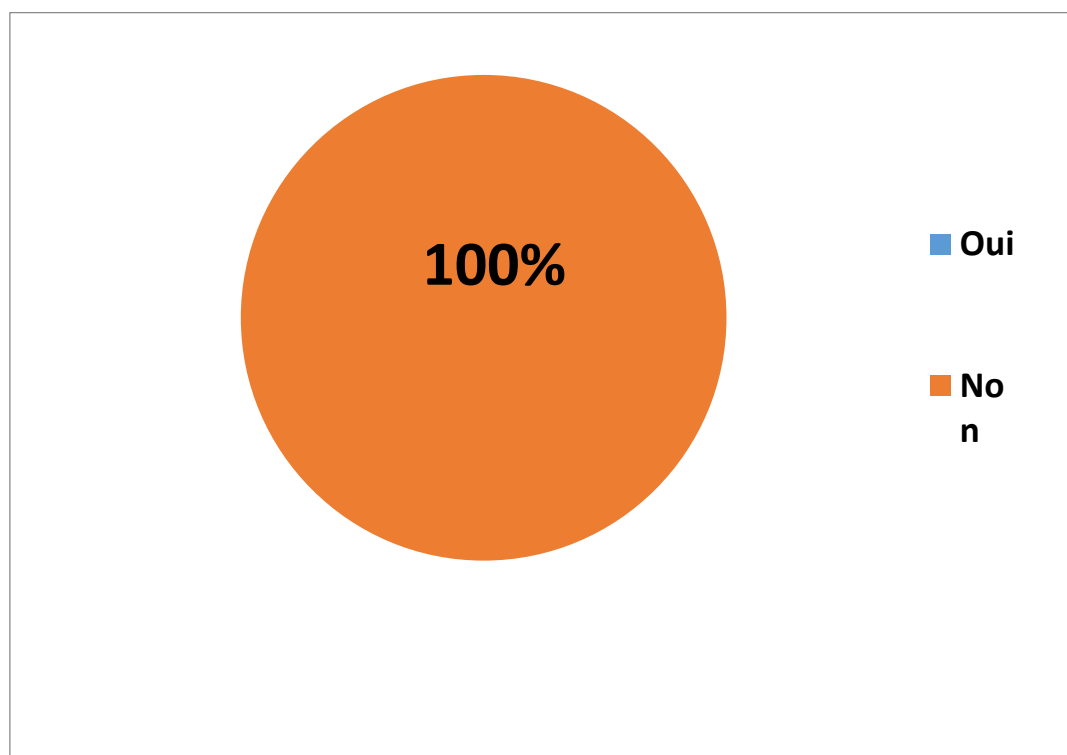


Figure 3 : Contre indication : Pacemaker

III. Indication de l'intervention à la piezochirurgie

Les indications de l'intervention au piézotome ont été regroupées en trois catégories dans notre étude.

<u>Indications de l'intervention au piezotome</u>				
	<u>Fréquence</u>	<u>Pourcentage</u>	<u>Pourcentage valide</u>	<u>Pourcentage cumulé</u>
<u>Exérèses osseuses pour les tumeurs du cuir chevelu</u>	2	14%	14%	14%
<u>Dysmorphose maxillo-mandibulaire</u>	11	79%	79%	93%
<u>Prélèvement calvarial</u>	1	7%	7%	100%

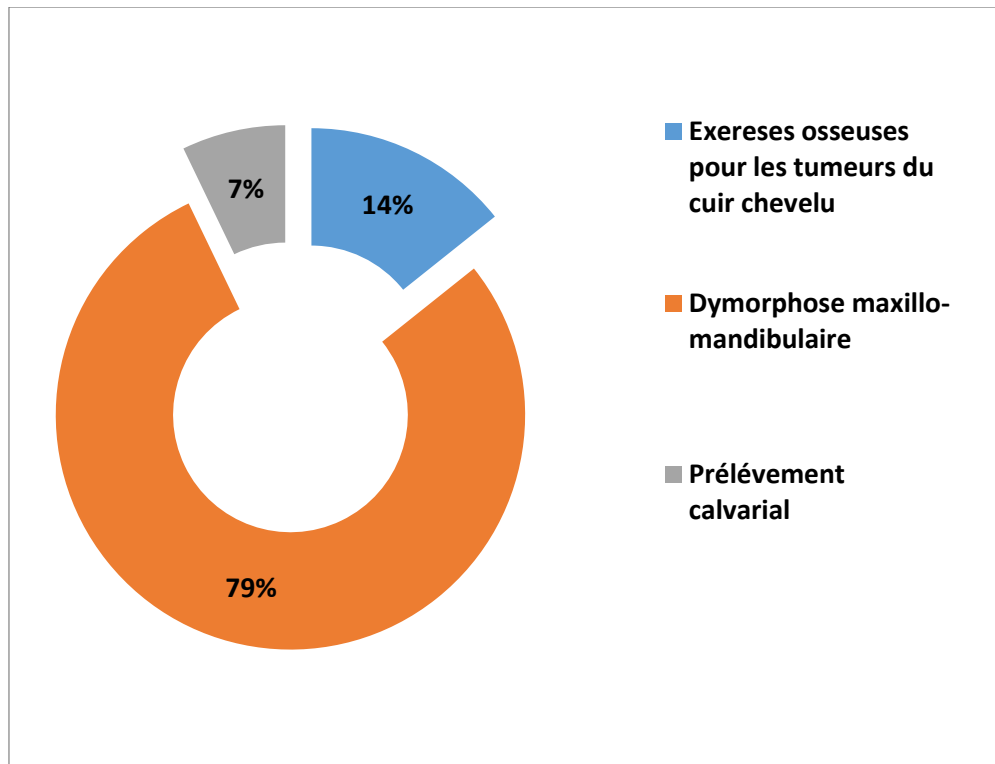


Figure 4 : Indications de l'intervention au piézotome



Figure 5 : Tumeur de cuir chevelu (iconographie du service de chirurgie maxillo-faciale ; Pr M.MOUMINE).



Figure 6 : Tumeur de cuir chevelu (iconographie du service de chirurgie maxillo-faciale ; Pr M.MOUMINE).

IV. Durée de l'intervention au piézotome :

La durée moyenne de l'acte chirurgical avoisine 3h.

	<u>Nombre</u>	<u>Min</u>	<u>Max</u>	<u>Moyenne</u>	<u>écart type</u>
<u>Durée de l'acte chirurgical</u>	14	1:30:00	4:30:00	2:50:21	1:08:00

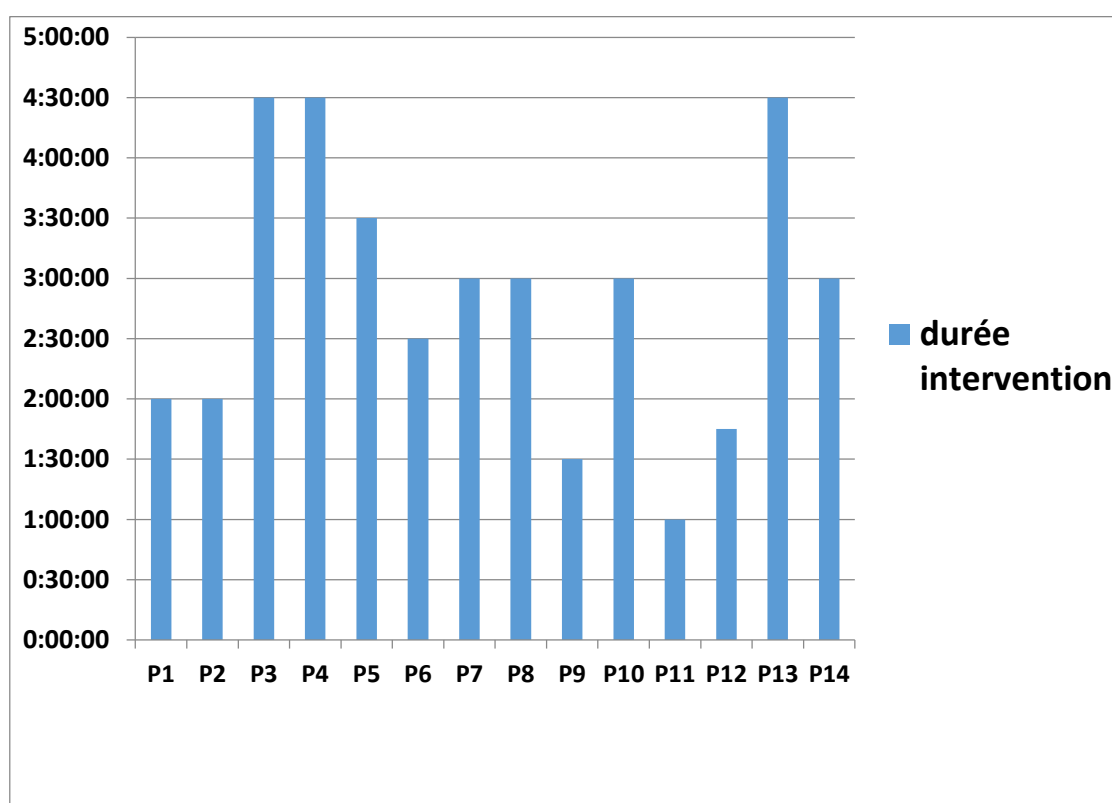


Figure 7 : Durée d'intervention

V. Techniques chirurgicales réalisées à l'aide du piézotome :

Les techniques chirurgicales concernant nos 14ans patients ont varié selon les différentes indications.

Tbleau 2 : Techniques chirurgicales utilisées

<u>techniques chirurgicales</u>	<u>Réponses</u>	
	<u>Nombre</u>	<u>Pourcentage</u>
Exérèse osseuse d'une tumeur de cuir chevelu	2	14%
Lefort I + disjonction intermaxillaire+ostéotomie mandibulaire	3	21%
En II temps	4	29%
Ostéotomie segment+Genioplastie	1	7%
Disjonction intermaxillaire+ostéotomie mandibulaire +impaction+genioplastie	1	7%
Avancée maxillaire	1	7%
Avancée maxillaire + Genioplastie	1	7%
Greffe osseuse à partir de l'os parietal	1	7%



Figure 8 : Exérèse osseuse d'une tumeur de cuir chevelu (iconographie du service de chirurgie maxillo-faciale ; Pr M.MOUMINE).

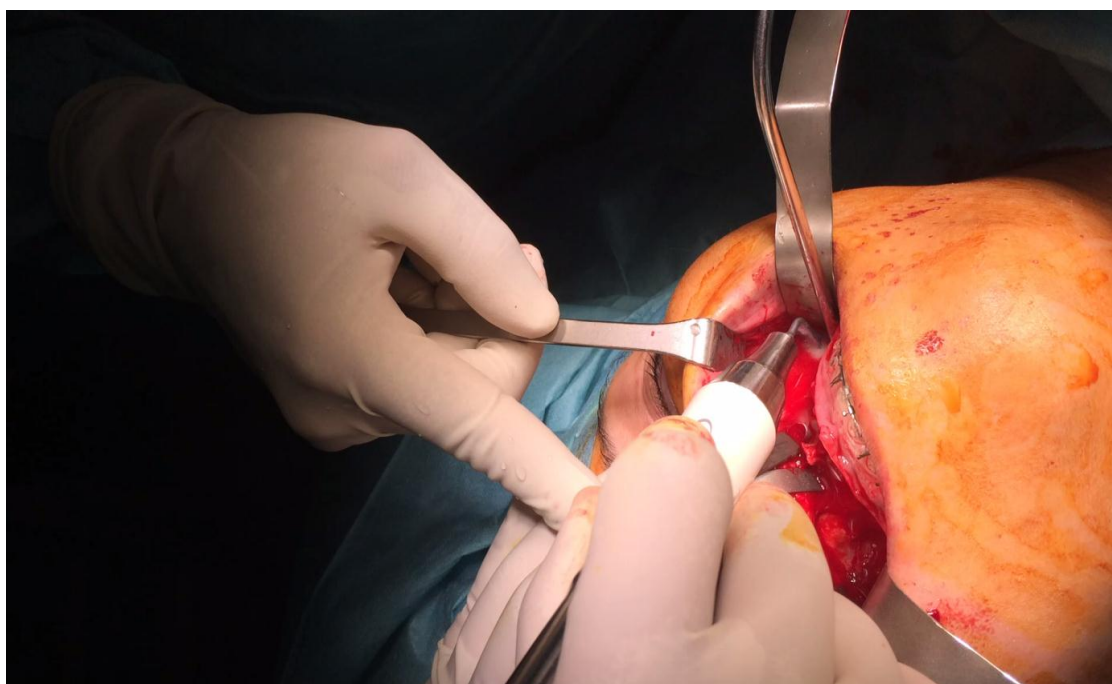


Figure 9 : ostéotomie maxillaire (iconographie du service de chirurgie maxillo-faciale ; Pr M.MOUMINE).



Figure 10 : Exérèse osseuse d'une tumeur de cuir chevelu (iconographie du service de chirurgie maxillo-faciale ; Pr M.MOUMINE).



Figure 11 : disjonction inter_maxillaire (iconographie du service de chirurgie maxillo-faciale ; Pr M.MOUMINE).

VI. Incidents per-opérateur :

1. Incidents per-opérateur : Exérèses osseuses pour les tumeurs du cuir chevelu.

<u>Exérèse osseuse de tumeur du cuir chevelu</u>	<u>Incident Per-opérateur</u>	<u>Fréquence</u>	<u>pourcentage</u>	<u>pourcentage valide</u>	<u>pourcentage cumulé</u>
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Écoulement du LCR</u> • <u>Lésion des méninges</u> 	Oui	0	0%	0%	0%
	Non	2	100%	100%	100%

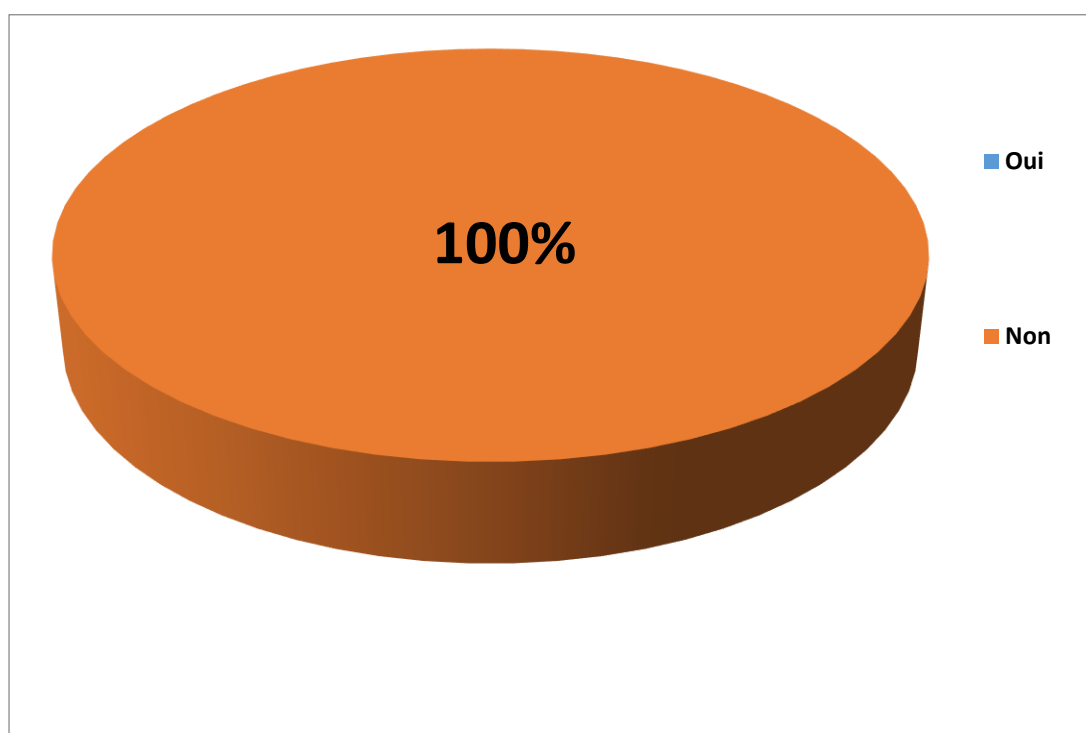
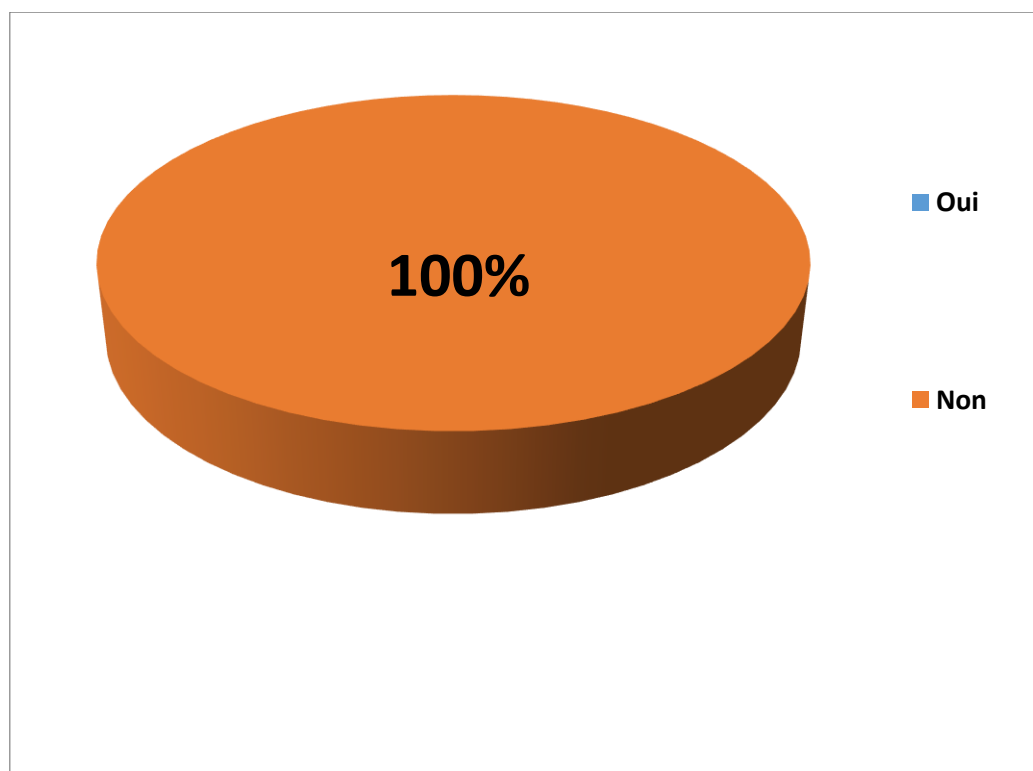


Figure 12 : Incidents per-opérateur : exérèse osseuse de tumeur du cuir chevelu

2. Incidents per-opérateur : ostéotomie bi-maxillaire :

<u>ostéotomie</u> <u>bi-maxillaire</u>	<u>Incident</u> <u>per-opérateur</u>	<u>fréquence</u>	<u>pourcentage</u>	<u>pourcentage</u> <u>valide</u>	<u>pourcentage</u> <u>cumulé</u>
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Lésion des</u> <u>éléments</u> <u>vasculo-nerveux</u> • <u>fracture</u> <u>pathologique</u> • <u>lésion de la</u> <u>muqueuse</u> <u>sinusienne</u> 	Oui	0	0%	0%	0%
	Non	11	100%	100%	100%

**Figure 13 : Incidents per-opérateur : ostéotomie bi-maxillaire**

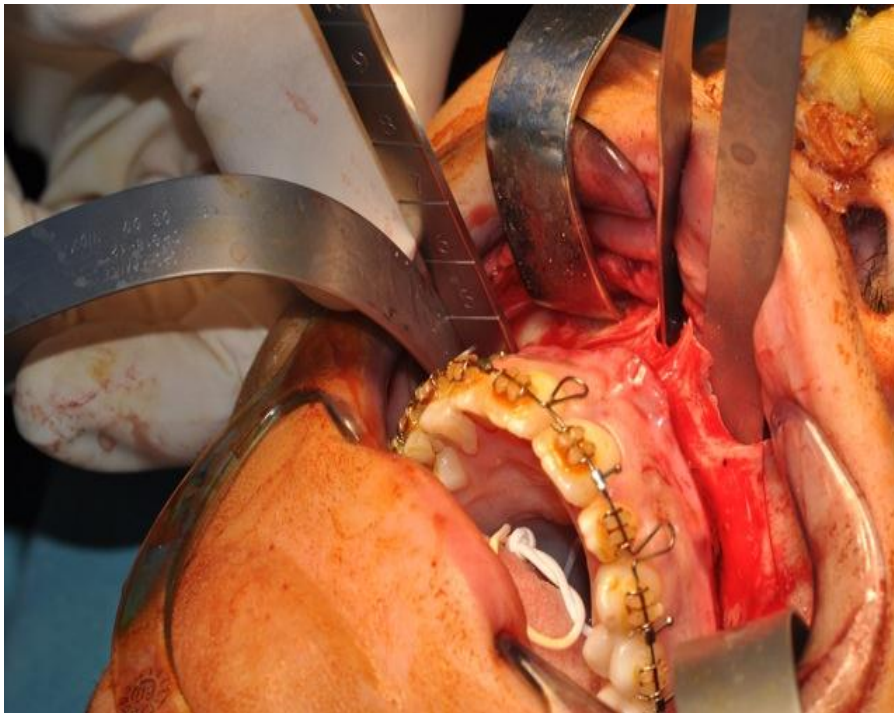


Figure 14 : la finesse de la coupe par le piézotome (iconographie du service de chirurgie maxillo-faciale ; Pr M.MOUMINE).

VII. Poste opératoire :

Les suites postopératoires étaient simples dans 100% des cas. Aucune Complication post opératoire déplorable n'a été constatée.

Mentionnant la diminution remarquable de l'œdème, saignement et douleur avec l'utilisation du piézotome.

	<u>fréquence</u>	<u>pourcentage</u>	<u>pourcentage valide</u>	<u>pourcentage cumulé</u>
<u>Suite simple</u>	14	100%	100%	100%

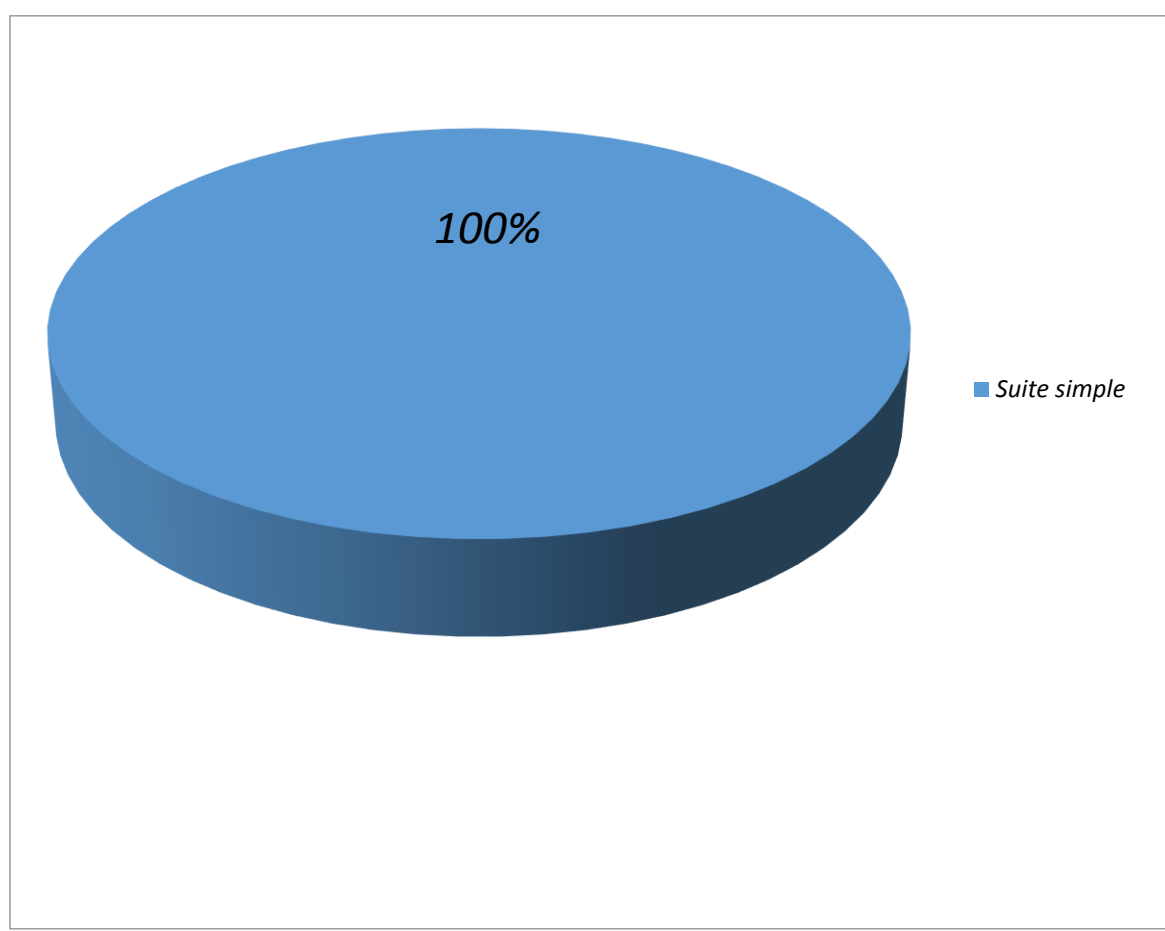


Figure 15 : Les suites poste-opératoires.

VIII. la durée d'hospitalisation :

La durée moyenne d'hospitalisation avoisine les 5 jours.

	<u>Nombre de patients</u>	<u>Pourcentage</u>	<u>Pourcentage valide</u>	<u>Pourcentage cumulé</u>
<u>3 jours</u>	2	14%	14%	14%
<u>4 jours</u>	4	29%	29%	43%
<u>5 jours</u>	6	43%	43%	86%
<u>6 jours</u>	1	7%	7%	93%
<u>7 jours</u>	1	7%	7%	100%

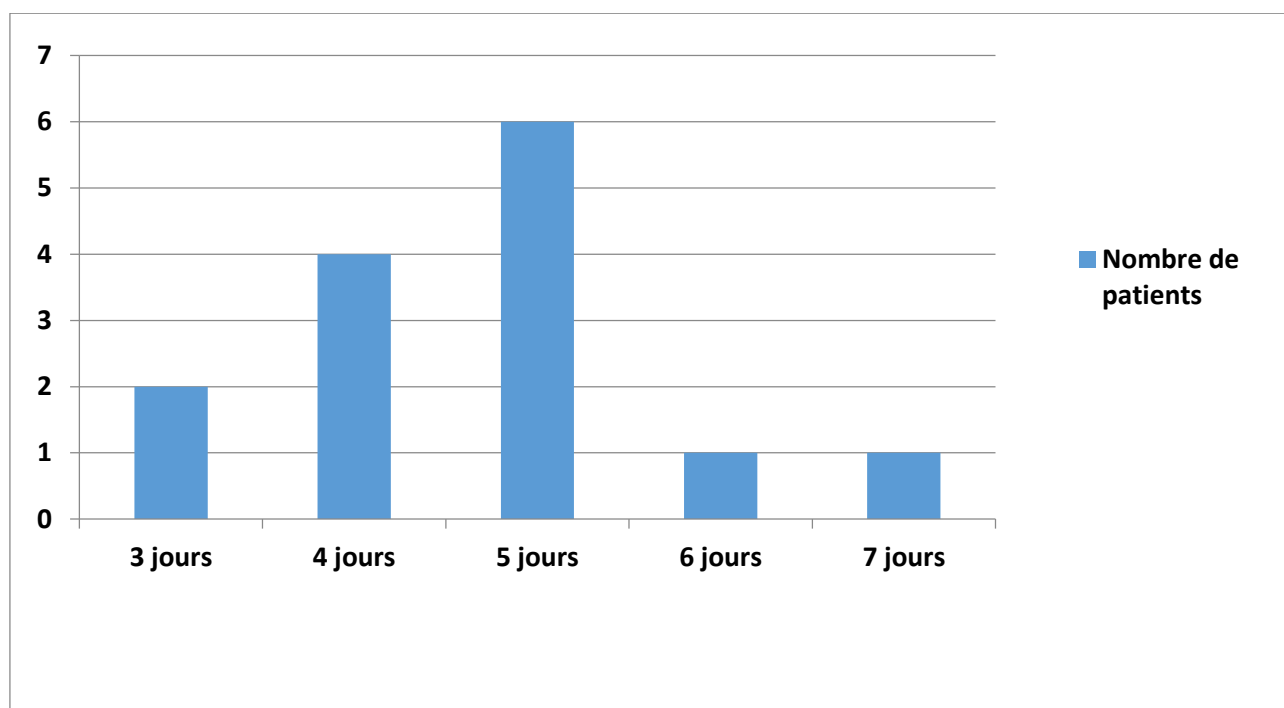


Figure 16 : la durée d'hospitalisation

IX. résultats de la piézochirurgie :

1. tumeur de cuir chevelu :

a. Type histologique :

<u>Type histologique</u>	<u>Réponses</u>	
	<u>Nombre</u>	<u>Pourcentage</u>
<u>carcinome épidermoïde occipitale</u>	1	50%
<u>carcinome baso-cellulaire occipito-pariétale</u>	1	50%

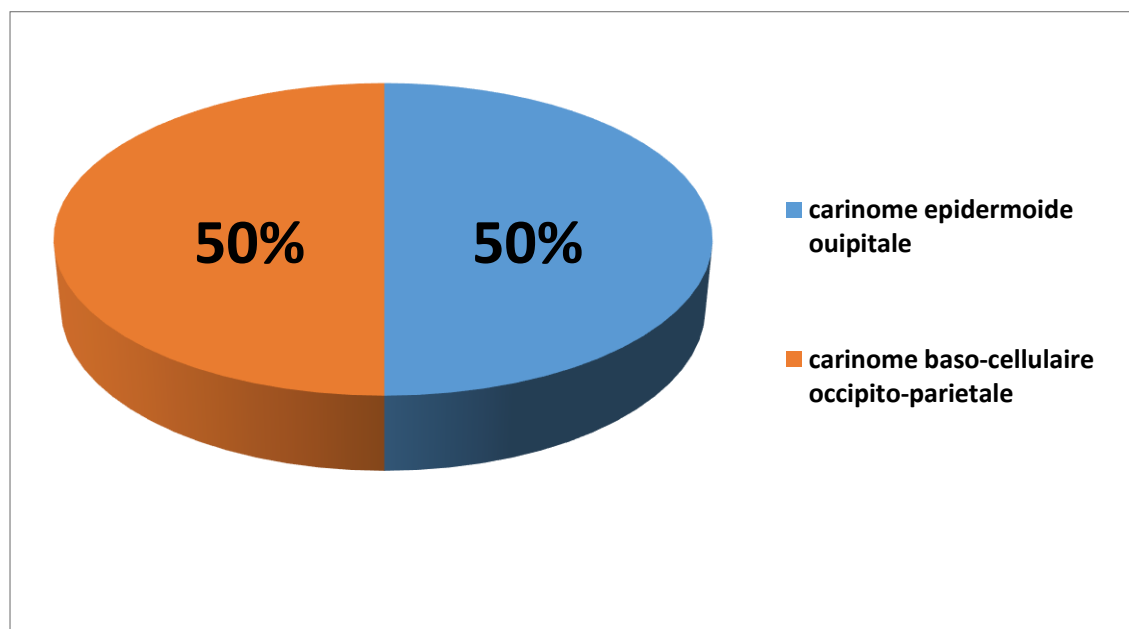


Figure 17 : Le type histologique.

2. Ostéotomie bi-maxillaire :

a. Satisfaction esthétique :

Tous les patients ont été satisfaits du résultat.

<u>Satisfaction esthétique</u>	<u>fréquence</u>	<u>pourcentage</u>	<u>pourcentage valide</u>	<u>pourcentage cumulé</u>
<u>Satisfaisant</u>	11	100%	100%	100%

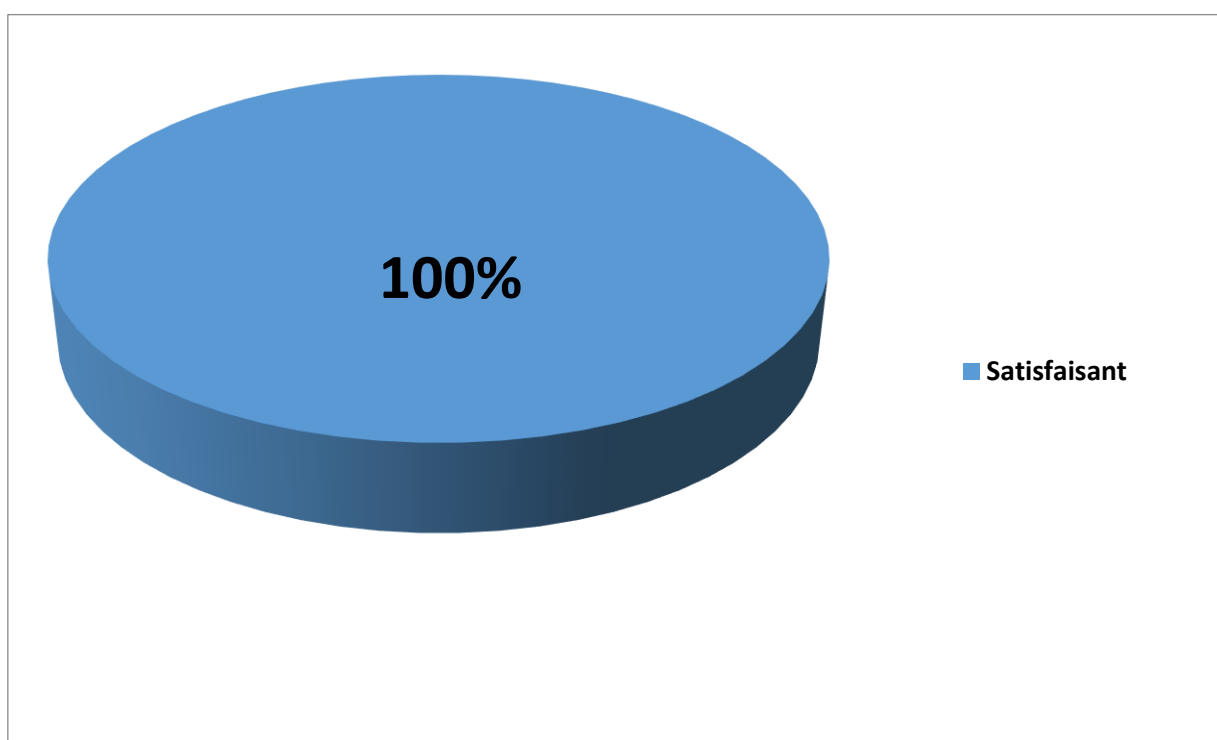


Figure 18 : La satisfaction esthétique.

b.Respiration :

Tous nos patients n'avaient plus de problèmes respiratoires après la piezochirurgie.

<u>Respiration</u>	<u>Fréquence</u>	<u>Pourcentage</u>	<u>Pourcentage valide</u>	<u>Pourcentage cumulé</u>
<u>Normale</u>	11	100%	100%	100%

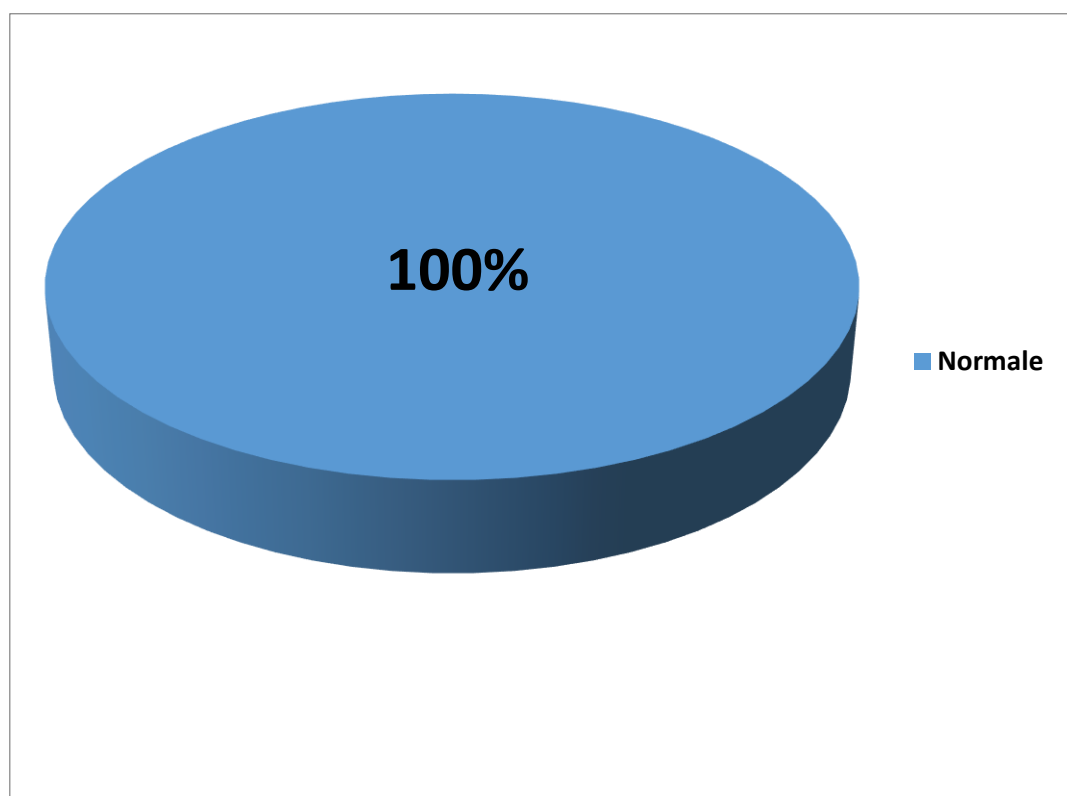


Figure 19 : La respiration.

c. Reprise de la mastication :

Tous les patients ont repris la mastication après 45jours.

<u>Délais de reprise de la mastication</u>	<u>Fréquence</u>	<u>Pourcentage</u>	<u>Pourcentage valide</u>	<u>Pourcentage cumulé</u>
<u>45 jours</u>	11	100%	100%	100%

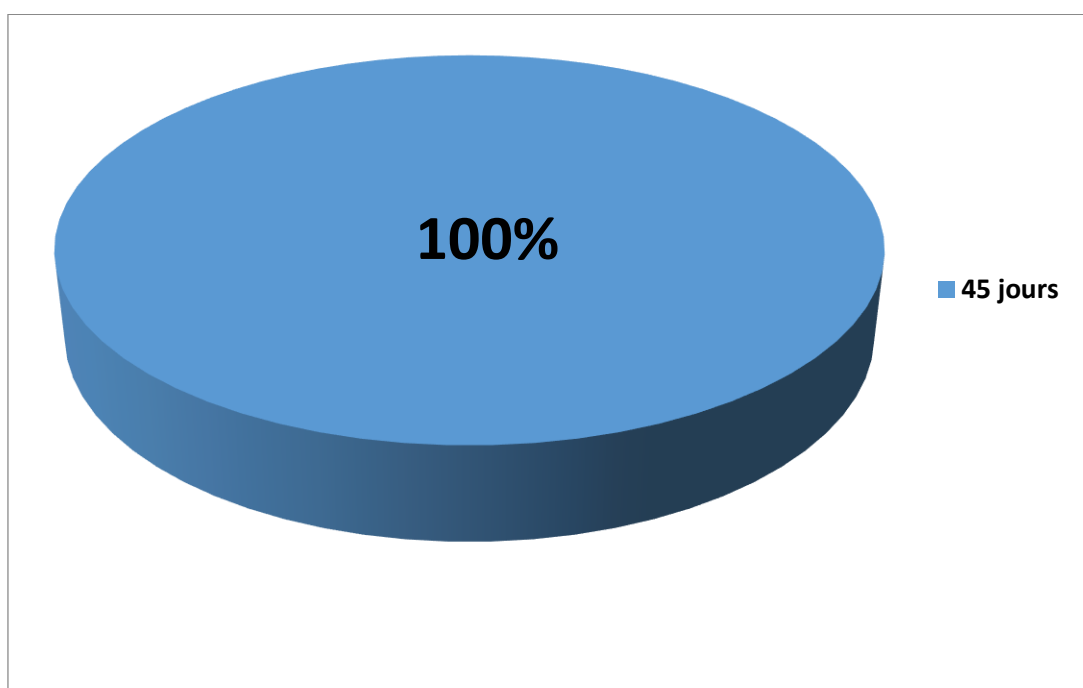


Figure 20 : Délai de la reprise de la mastication.

d. Délai de retour à une ouverture buccale normale :

Le délai de retour à une ouverture buccale normale était pour tous les patients de 24 jours.

<u>Délais de reprise de l'ouverture buccale</u>	<u>Fréquence</u>	<u>Pourcentage</u>	<u>Pourcentage valide</u>	<u>Pourcentage cumulé</u>
<u>24 jours</u>	11	100%	100%	100%

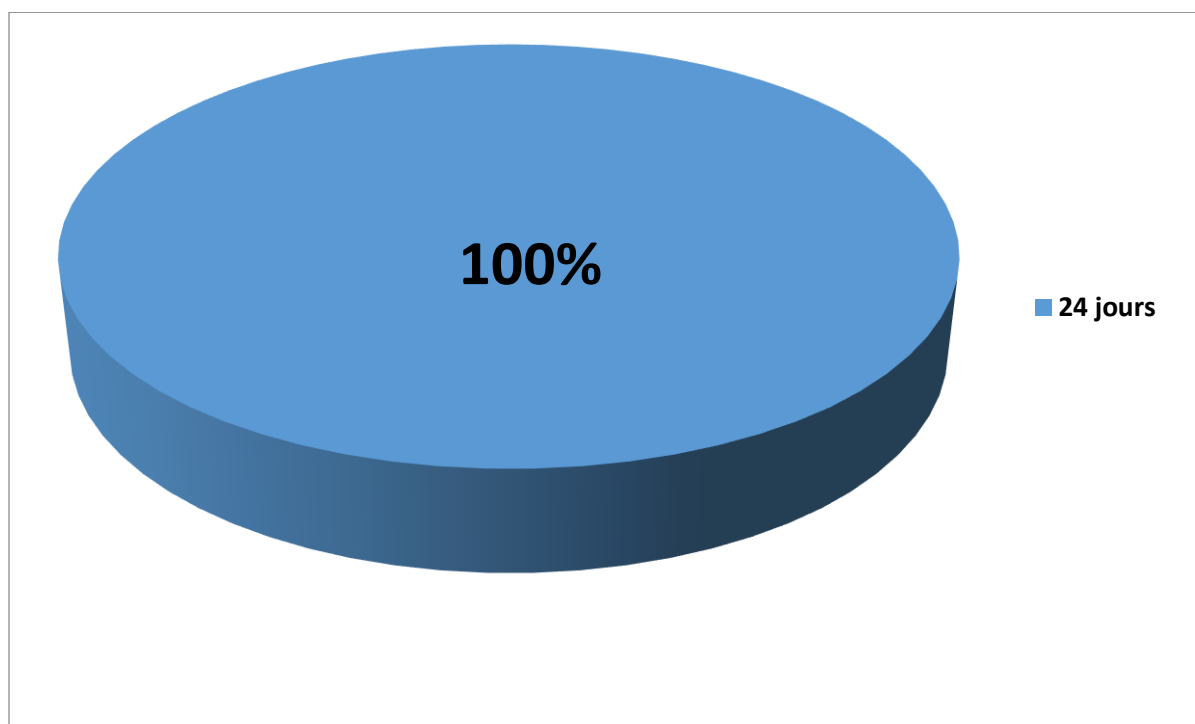


Figure 21 : Le délai de la reprise de l'ouverture buccale.

DISCUSSION

I – La chirurgie piézoélectrique :

1. Historique :

1.1. Apparition de la piézochirurgie :

L'effet piézoélectrique a été découvert dès 1880, par les physiciens Pierre et Marie Curie, en collaboration avec Gabriel Lippmann. Ces derniers démontrent que l'application de contraintes et de forces de compression sur certains corps solides induit une charge électrique mesurable. D'où le choix du terme « Piezo », qui provient du verbe grec « piezen », signifiant « comprimer » ou « presser ». Ces corps solides dotés d'une telle propriété ont des structures cristallines comme le quartz, la tourmaline, le sel de seignette ou le titanate de baryum. Aujourd'hui, les cristaux de quartz ont été abandonnés et les pièces à main piézoélectriques sont majoritairement constituées de pastilles de céramique piézoélectriques de structures cristalline à base de titanate de baryum ou équivalent, dont les résistances aux vibrations et les fréquences de résonance sont mieux adaptées aux applications cliniques. (1, 2, 3, 4)

En 1953, Catuna publie un premier rapport de l'effet de l'utilisation des ondes de hautes fréquences sur les tissus dentaires, en endodontie et en parodontologie. (5)

L'utilisation des instruments ultrasoniques et piézoélectriques en odontologie est donc connue et largement utilisée depuis déjà des décennies.

En ce qui concerne l'utilisation des instruments ultrasoniques pour la réalisation d'ostéotomies, c'est Horton qui en proposera l'étude en 1975 et en 1981. A cette période, il arrive déjà à la conclusion qu'il est possible de réaliser des ostéotomies de façon simple et précise avec les ultrasons. Il observe également que les instruments ultrasoniques permettent une cicatrisation osseuse rapide avec la présence de lacunes de formations ostéoïdes en surface. (6, 7)

Cependant, ce n'est qu'en 1997 que les ultrasons sont réutilisés pour des actes de chirurgie buccale. A cette époque, Vercellotti, tente l'utilisation des instruments ultrasoniques pour réaliser l'avulsion d'une canine ankylosée. A l'issue de cette expérience l'auteur constate les limites de cette instrumentation en chirurgie osseuse, comme l'inefficacité de coupe et la nécrose osseuse due à l'élévation de température. (8,9)

C'est ainsi que, dès 1998, et en partenariat avec Mectron Medical Technology Srl, Vercellotti invente le premier appareil ayant la capacité de produire des microvibrations à ultrasons de type piézoélectrique avec une puissance adaptée à la chirurgie osseuse.

Il s'agit là, non seulement d'une nouvelle instrumentation inventée dans le but de dépasser les limites de l'instrumentation traditionnelle, mais aussi d'une nouvelle technique chirurgicale impliquant de nouveaux protocoles. (10)

1.2. Les pionniers :

Horton et coll. (1981) décrivent pour la première fois la réalisation d'ostéotomie par instruments ultrasoniques.

Torrella et coll. (1998), Vercellotti et coll. (2001) ont actualisé ces techniques par la mise au point d'un appareil adapté à notre pratique chirurgicale. (11)

2. Principes physiques de la piézoélectricité

2.1. Les ultrasons

Les ultrasons sont des ondes dont la fréquence est supérieure à 20 000 Hertz (vibrations par seconde) ; à partir de 500 MHz on parle d'hypersons. Les hommes perçoivent les ondes entre 20 et 20 000 Hertz. Les ultrasons sont donc des ondes mécaniques inaudibles par l'homme et biologiquement inoffensives.

Cependant, par simple phénomène d'agitation, ils peuvent induire la désorganisation et la fragmentation de toutes les interfaces entre deux corps de nature différente. Les vibrations ultrasonores permettent aisément le clivage des interfaces solide-solide, par vibration différentielle, et solide-liquide, par cavitation.

Développés dans les années 50, les ultrasons sont aujourd'hui largement répandus, notamment dans le domaine de l'instrumentation et de l'imagerie médicale.

Les ultrasons permettent de réaliser des images en coupe des tissus mous du corps humain à partir de l'amplitude des échos rétrodiffusés lors de la propagation d'impulsions mécaniques de haute fréquence, de 2 à 10 MHz, dans ces tissus.

Ainsi, les ultrasons occupent une place importante en diagnostic médical en raison du caractère non ionisant et non dangereux de cette technique. Les ultrasons sont générés par des transducteurs piézo-électriques qui fonctionnent par alternance en émission et en réception. Les capteurs utilisés pour former les images sont constitués d'un grand nombre de transducteurs élémentaires qui constituent des réseaux ou des matrices. (12)

Dans le cadre de la chirurgie piézoélectrique, les fréquences utilisées sont situées entre 22 et 30 kHz, et l'onde est transmise par l'intermédiaire d'un transducteur et de son insert.

Les vibrations piézoélectriques sont constitués d'ondes qui :

- se déplacent longitudinalement ;
- se déplacent dans un milieu ;
- sont reflétées et absorbées à l'interface des différentes surfaces rencontrées.

(13, 4)

Les ultrasons peuvent engendrer des phénomènes thermiques, on peut donc brûler des tissus biologiques avec des ultrasons, ce qui explique le nécessaire couplage de l'instrumentation ultrasonore avec une irrigation afin de refroidir

les parties travaillantes et les tissus.

La célérité d'une onde ultrasonore ne dépend que des propriétés mécaniques du milieu, c'est à dire du module d'élasticité et de la masse volumique :

$$c^2 = E/\rho$$

C : célérité

P : masse volumique

E : module d'élasticité (47)

La matrice extra-cellulaire du tissu osseux étant constituée principalement de collagène et de sels de calcium, la célérité des ultrasons sera supérieure dans ce tissu par rapport à la célérité dans les tissus mous.

2.2. L'effet piézoélectrique :

L'usage d'instruments piézoélectriques en odontologie s'est généralisé et leur efficacité est démontrée par de nombreuses études cliniques. (4)

Actuellement on utilise le terme « piézo » pour décrire deux effets physiques distincts mais liés, l'effet direct et l'effet indirect.

L'effet direct est lié aux propriétés qu'ont certains corps solides dits « piézoélectriques » (quartz ou céramique par exemple) à se polariser électriquement (déplacement de charges positives et négatives) sous l'action d'une force mécanique. L'application de forces mécaniques extérieures sur un matériau à structure cristalline, anisotrope, entraîne le déplacement des charges électriques, soit en direction orthogonale, soit de manière colinéaire par rapport à l'axe de polarité interne du cristal, et il en résulte de ce fait une différence de potentiel à sa surface.

L'effet indirect ou inverse est lié à l'ensemble des déformations (dilatations ou contractions) de certains corps dits « piézoélectriques » sous l'effet de polarisation, lors de l'application d'un champ électrique. Dans un matériau piézoélectrique

l'application de contraintes mécaniques extérieures provoque donc le déplacement des centres de charges électriques δ^+ et δ^- , qui permet de détecter à la surface initialement neutre une différence de potentiel dipolaire, ce phénomène ne se produit pas dans un cristal à structure ionique symétrique et homogène. Les qualités nécessaires à un matériau pour le comportement piézoélectrique sont la structure cristalline et la possibilité du déplacement des charges positives et négatives les unes par rapport aux autres, au sein d'une cellule élémentaire.

Les pièces à main piézoélectriques sont donc soumises à un effet indirect ou inverse. (1, 2, 4)

Pour cet effet piézoélectrique indirect, la polarisation permanente des molécules joue un rôle décisif. Cet effet est mis à contribution pour le transfert de mouvements longitudinaux ou transversaux de certains matériaux ferro-électriques, par exemple pour créer des dispositifs de coupe ou de section chirurgicale. (2)

La chirurgie piézoélectrique repose sur l'utilisation d'un courant alternatif de moyenne fréquence, transmis par un générateur à un transducteur (pièce à main contenant des pastilles de céramique) qui va produire des oscillations mécaniques. Celles-ci sont, à leurs tours, transmises à des inserts qui vont générer des microvibrations longitudinales (amplitude de 40 à 200 μm) et verticales (amplitude de 20 à 60 μm) qui varient en fonction de la puissance appliquée (de 10 à 55 W) et de la fréquence sélectionnée (de 22 kHz à 32 kHz). (14)

Le courant électrique génère une déformation des pastilles céramiques. Les mouvements de ces dernières entraînent des vibrations dans l'axe du transducteur. L'amplificateur, couplé à l'insert, augmente ensemble les déplacements vibratoires émis par les pastilles céramiques. Ces micro-mouvements se font à une fréquence de 22 à 30 kHz, en fonction de l'insert. L'insert vibre donc dans un axe longitudinal. La contre masse amortie les vibrations vers l'arrière et optimise le rendement

électromécanique. A ces fréquences, seuls les tissus minéralisés peuvent être coupés.

(4)

L'utilisation de la pièce à main est couplée à une irrigation de sérum physiologique réfrigéré. (5)

Actuellement, la plupart des détartreurs ultrasonores utilisent la piézoélectricité inverse. Pourtant aucun des inserts de ces détartreurs ne permet de couper les tissus mous et encore moins les tissus durs.

Ainsi, le bistouri ultrasonore se démarque des détartreurs classiques par quatre paramètres qui sont : les fréquences du générateur, la masse, la dureté et la forme des inserts.

La piézoélectricité est donc trois fois plus efficace que les instruments ultrasoniques habituellement utilisés, et ainsi peut être utilisé pour couper des tissus osseux minéralisés. (10)

2.3. Le phénomène de cavitation

La cavitation est un phénomène de micro-ébullition du liquide se produisant au niveau de toutes les interfaces solide-liquide vibrant à moyenne fréquence. Elle s'explique par une rupture de la cohésion moléculaire des liquides et l'apparition de zones de dépression se remplissant de vapeur jusqu'à constituer des bulles prêtes à imploser. En fait, ce phénomène se produit à toutes les transitions acoustiques entre vibrations des solides et ondes ultrasonores des liquides, quel qu'en soit le sens de transmission.

Ce phénomène est recherché dans de nombreuses applications, telles que les cuves de nettoyage ultrasonores, où l'apparition de ces bulles et leur implosion sur toute la surface des instruments immergés permet leur nettoyage. Au niveau des détartreurs la cavitation apparaît lorsque le spray d'eau entre au contact de l'insert

vibrant en moyenne fréquence avec la formation d'un brouillard de cavitation caractéristique de ces instruments. (13)

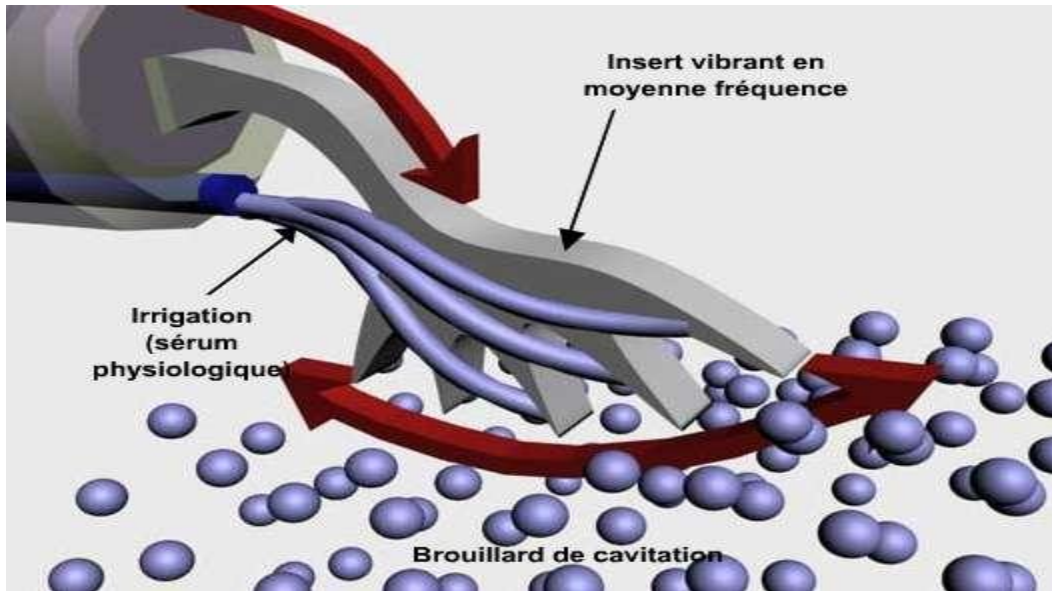


Figure 22 : Le phénomène de cavitation (13)

3. Apports des générateurs piézoélectriques

3.1. Instrumentation existante

Trois types d'instruments sont actuellement disponibles : les instruments manuels, les instruments motorisés et les appareils piézoélectriques. (4)

3.1.1. Les instruments manuels

Les instruments manuels se caractérisent par une notable efficacité de coupe liée à la force mécanique s'exerçant de façon instantanée. Ils restent efficaces mais très peu manœuvrables.

Ils bloquent la visibilité du praticien. De plus, les efforts déployés lors des interventions sont considérables et leur utilisation reste très traumatisante pour le patient.

Parmi ces instruments, les plus utilisés restent les scalpels, maillets, ostéotomes

chirurgicaux et gouges. Ils sont encore utilisés dans des zones faciles d'accès, mais sont souvent associés à des instruments motorisés. (4)

3.1.2. Les outils de coupes motorisés

Les outils de coupes motorisés transforment leur énergie électrique ou pneumatique en énergie mécanique, produisant des micro-vibrations sur la fraise ou scie à os. Différents mouvements de coupe ont été introduits tels que les mouvements circulaires et rectilignes.

Les scies oscillantes et les fraises à os montées sur pièces à main offrent un couple important particulièrement intéressant en chirurgie osseuse, mais les rend dangereuses à utiliser à proximité d'obstacles anatomiques majeurs.

Les fraises actionnées par un micromoteur obligent le praticien à s'opposer au couple de rotation de l'instrument.

Les scies produisent quant à elles des macro-vibrations qui nécessitent également d'être maîtrisées par le praticien. Le trait de coupe d'une scie ne permet pas au chirurgien de contrôler sa profondeur.

Il est donc préférable de finir ce type d'intervention à l'aide d'instruments manuels afin de ne pas endommager les tissus mous, nerfs ou membranes.

Cependant, s'il est vrai que les pièces à main permettent l'utilisation d'instruments à cols longs pour intervenir en profondeur, ce qui est difficile avec les grosses têtes des contre-angles et des turbines, le bistouri ultrasonore demeure l'instrument le plus intéressant pour agir avec un faible contrôle visuel dans des zones difficiles d'accès.

D'autre part, les instruments rotatifs sont susceptibles d'induire des effets néfastes compte tenu de la production de fortes températures pouvant altérer la régénération osseuse. L'échauffement osseux sera limité en utilisant des fraises neuves avec un fort pouvoir de coupe et une instrumentation intégrant une irrigation

de solution réfrigérée.

Enfin, la répercussion des vibrations, d'autant plus importante que la force exercée de l'opérateur est élevée, est particulièrement difficile pour le patient, entraînant un traumatisme qui pourra le rendre réticent à toute autre intervention.

L'utilisation des instruments rotatifs reste donc contestée. (13, 10,4)

3.1.3. Les instruments piézoélectriques :

La piézoélectricité apporte plus de sécurité et de confort au praticien. En effet, elle permet d'élaborer des coupes précises, fines, sans effort et sans lésion sur les tissus mous. Les douleurs post-opératoires sont diminuées et la cicatrisation améliorée par rapport aux instruments rotatifs.

Finalement, le geste chirurgical lors de l'utilisation des instruments piézoélectriques diffère beaucoup des autres techniques de chirurgie osseuse. Cette technique nécessite donc un apprentissage de la gestuelle afin de trouver le propre équilibre entre la pression exercée par le praticien et la vitesse de l'insert. (4)

3.2. Sélectivité de l'effet de coupe :

Grâce aux basses fréquences sélectionnées comprises entre 22 et 30 kHz, le générateur d'ultrasons piézoélectrique est actif sur les tissus durs et restreint les risques de lésion sur les tissus mous.

Le générateur produit par intermittence des microvibrations ultrasonores de très faible amplitude, de l'ordre de 60 à 200 microns, qui correspondent au signal piézo modulé. Ce signal modulé en amplitude, mis en place automatiquement lors de la réalisation d'actes de chirurgicaux, permet une relaxation tissulaire et une réparation cellulaire. Enfin, il assure une incision exempte de friction et de vibration.

(4)

3.3. Hémostase :

Grâce à son irrigation, le générateur d'ultrasons piézoélectrique a un effet hémostatique au niveau des surfaces de coupe. L'hémostase est due en partie à la libération d'un précipité protéique par la couche cellulaire en contact avec l'insert, et en partie à l'apparition d'oxygène naissant. Cet effet hémostatique permet ainsi d'obtenir une bonne visibilité du champ opératoire.

La cavitation se caractérise par l'apparition de micro-bulles lorsque le liquide entre en contact avec l'insert soumis aux vibrations ultrasonores. En effet, quand l'eau entre au contact des ultrasons, il y a formation de radicaux H et OH. En implosant, les bulles de cavitation libérées ont un effet décapant.

Ce phénomène permet de bénéficier d'une visibilité optimale du champ opératoire, de limiter l'extravasation sanguine, de nettoyer les zones de travail des débris osseux et d'éviter toute élévation thermique susceptible d'entraîner une dégradation des tissus. La production de ces radicaux issus du phénomène de cavitation est, néanmoins, dépendante de la forme de l'insert ultrasonique et de la puissance du générateur. (46,4)

3.4. Histologie :

En 2001, Vercellotti et coll. étudient les caractéristiques cliniques, radiologiques et histologiques des tissus après une incision au bistouri ultrasonore. Cette étude est conduite à partir de la réalisation de trois chirurgies orthopédiques sur des chiens. (15)

Cette expérience leur permet de conclure sur l'efficacité de la chirurgie piézoélectrique par rapport à l'instrumentation conventionnelle. En effet, l'incision piézoélectrique est micrométrique et sélective, aucun dommage n'est constaté sur les tissus mous.

D'autre part, l'évaluation histologique macroscopique de tous les segments d'ostéotomie montre une parfaite intégrité de la surface de l'ostéotomie avec une coupe régulière, sans nécrose ni pigmentation.

L'évaluation histologique microscopique présente une surface osseuse des segments d'ostéotomie sans signe de lésion des tissus minéralisés et la présence en surface d'ostéocytes en vie. (15)

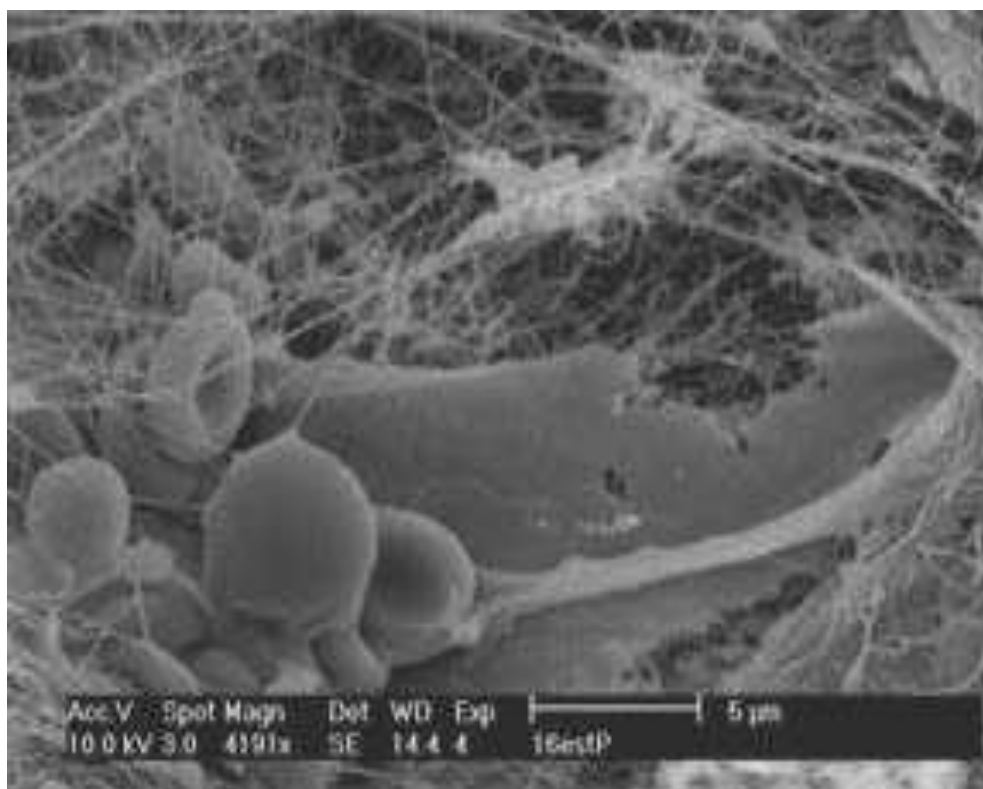


Figure 23 : Surface de coupe après ostéotomie par piézochirurgie, en microscopie électronique à balayage, grossissement 500X, mettant en évidence la présence d'ostéocytes en vie. (16)

En 2004, Eggers et coll. proposent une étude en microscopie électronique d'os de cadavres, mettant en évidence une qualité de coupe de la surface osseuse plus nette par piézochirurgie que par l'instrumentation conventionnelle. (22)

Lors d'incision osseuse, il a été constaté histologiquement que le tissu découpé demeure vital. En effet, le couplage d'un insert efficace avec les justes fréquences permet de neutraliser l'effet thermique nécrosant. (45)

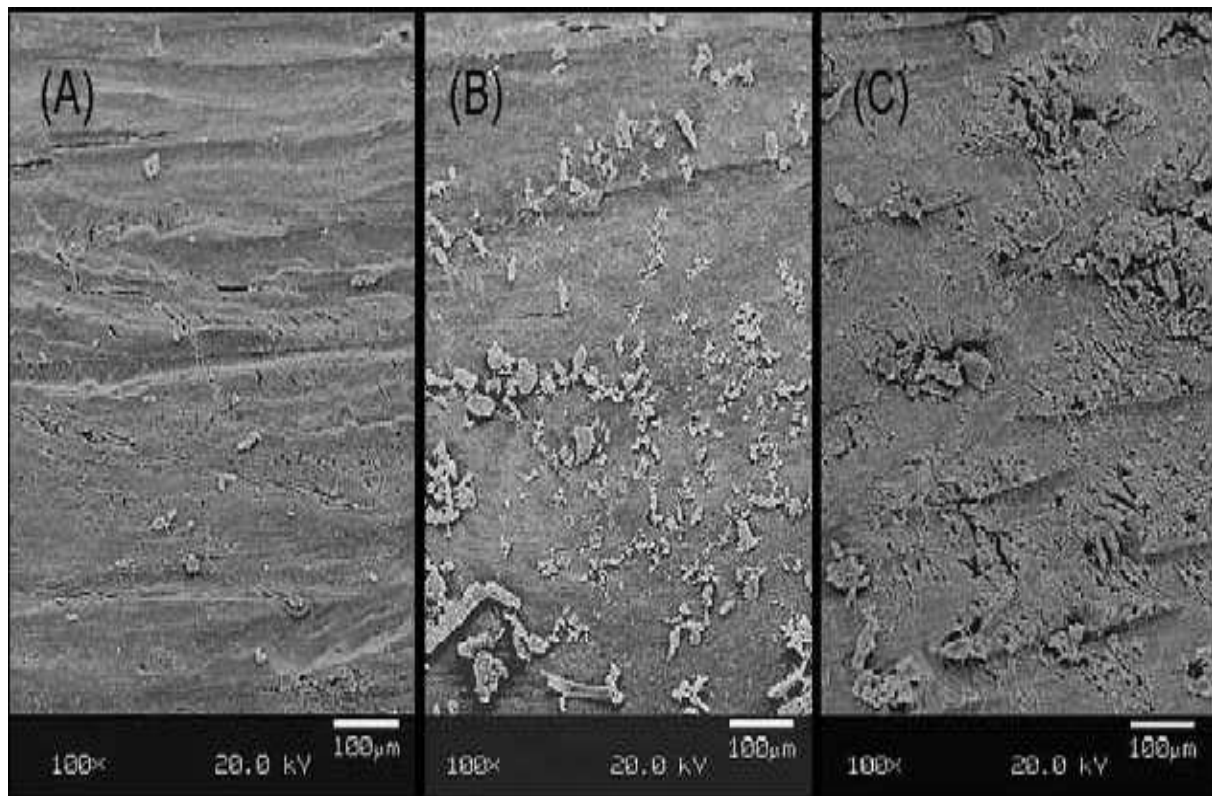


Figure 24 : surface de coupe après ostéotomie, en microscopie électronique à balayage, grossissement 100X : (A) piézochirurgie, (B) bistouri osseux de Lindemann, (C) scie oscillante. D'après Eggers. (22)

D'autres études comparatives ont également démontré l'avantage clinique et histologique de la piézochirurgie par rapport aux fraises et aux scies à os. (16)

L'évaluation histologique en microscopie photonique présente une surface osseuse des segments d'ostéotomie sans signe de lésion des tissus minéralisés, sans signe de nécrose, ni pigmentation, par rapport à l'instrumentation conventionnelle.



a) ostéotomie par fraise à os

b)



b) ostéotomie par scie oscillante



c) Ostéotomie par piézochirurgie

Figures 25 : a, b et c : Comparaison de la surface osseuse des segments d'ostéotomie en fonction de l'instrumentation utilisée, en microscopie photonique.

(16)

3.5. Evaluation radiologique :

Lors de l'expérience de Vercellotti et coll., de 2001, citée précédemment, l'évaluation radiologique montre une parfaite linéarité et précision de l'ostéotomie après la chirurgie piézoélectrique. La piézochirurgie limite donc le traumatisme tissulaire et permet ainsi une cicatrisation excellente, sans complication et avec un retour complet des fonctions neurologiques et vasculaires. (15)

3.6. Cicatrisation osseuse :

La fracture osseuse induit inévitablement un traumatisme qui déclenche une réponse cicatricielle. Dans les quatre premières heures suivant l'intervention, la réaction inflammatoire engendre une vasodilatation, un suintement de plasma et de leucocytes et une apparition de cellules inflammatoires, telles que les macrophages, contribuant à phagocyter les débris cellulaires et tissulaires. Simultanément, un caillot sanguin, contenant des plaquettes sanguines, se crée et des néovaisseaux sanguins se forment au niveau du site cicatriciel, c'est l'angiogenèse. Cette revascularisation permet la nutrition des cellules, nécessaire à leur développement et reproduction. Ainsi, plus le traumatisme mécanique sera faible, plus la circulation locale sera rétablie rapidement.

En 2005, Vercellotti et coll. comparent la cicatrisation osseuse après ostéotomie et ostéoplastie sur des chiens, réalisées soit à l'aide d'une instrumentation piézoélectrique soit à l'aide de fraises à os sur pièces à main. Il en ressort que la cicatrisation osseuse primaire est plus rapide après chirurgie piézoélectrique que par les instruments motorisés. D'autre part, Vercellotti et coll. observent que ce remodelage osseux se fait jusqu'au 56^{ème} jour après chirurgie piézoélectrique, alors que cette phase est terminée après chirurgie par l'instrumentation conventionnelle. (17)

L'utilisation des instruments piézoélectriques limite également le développement de traumatismes et permet une période post-opératoire exempte de complications. (4)

Tableau :3 récapitulatif de la comparaison des qualités des différents instruments d'ostéotomie. (13, 10, 4, 38, 39, 15, 17)

	Ostéotomie à la fraise.	Ostéotomie à la scie.	Ostéotomie au bistouri piézoélectrique.
Qualités requises du tissu osseux	Efficace sur tous les types d'os	Efficace sur presque tous les types d'os (à éviter d'utiliser sur des os peu minéralisés).	Efficace sur presque tous les types d'os (à éviter d'utiliser sur des os peu minéralisés).
Durée de l'acte.	Rapidité de l'acte.	Rapidité de l'acte.	Temps nécessaire plus important.
Efficacité de coupe.	Coupe dépendante de la force exercée par l'opérateur.	Linéarité du trait de coupe. Coupe dépendante de la force exercée par l'opérateur	Coupe micrométrique et sélective.
Echauffement lié au fonctionnement	Elévation de température liée à la vitesse de rotation et à la pression exercée par l'opérateur.	Elévation de température liée à la vitesse de rotation et à la pression exercée par l'opérateur.	refroidissement interne de la pièce à main. Irrigation au sérum réfrigéré pour diminuer l'échauffement de l'insert et de la surface de coupe.

Précision de l'ostéotomie.	Baisse de la sensibilité et de la précision due aux macrovibrations.	Baisse de la sensibilité et de la précision due aux macrovibrations. Peu de contrôle de la profondeur de coupe.	<ul style="list-style-type: none"> - Les oscillations microabrasives des inserts donnent une information précise sur la dureté du tissu traversé. - L'effet hémostatique lié à l'irrigation, permet d'avoir une bonne visibilité au niveau de la surface de coupe.
Effets sur les tissus mous.	Utilisation dangereuse à proximité des tissus mous. Le fort couple de l'instrument le rend dangereux à l'arrêt de part son inertie.	Utilisation dangereuse à proximité des tissus mous.	Sélectivité de coupe, permettant une action sur les tissus minéralisés sans dommages pour les tissus mous.
Surface de coupe.	Production de fortes températures des instruments rotatifs peut altérer le tissu osseux au niveau du trait de coupe.	Production de fortes températures des instruments rotatifs peut altérer le tissu osseux au niveau du trait de coupe.	Absence de signe de nécrose et présence d'ostéocytes en vie.

Cicatrisation osseuse.	Cicatrisation primaire, puis remodelage et réparation de l'os jusqu'aux 28 jours post-opératoire.	Cicatrisation primaire, puis remodelage et réparation de l'os jusqu'aux 28 jours post-opératoire	Cicatrisation primaire plus rapide. Remodelage et réparation de l'os jusqu'au 56 jour post-opératoire.
Confort du patient.	La répercussion des macrovibrations, d'autant plus importante que la force exercée par l'opérateur est élevée, est particulièrement difficile pour le patient.	La répercussion des macrovibrations, d'autant plus importante que la force exercée par l'opérateur est élevée, est particulièrement difficile pour le patient.	Les microvibrations produisent moins de vibrations et moins de bruit, ce qui permet de diminuer le stress psychologique du patient.

4. Systèmes disponibles en piézochirurgie :

4.1. Principes technologiques du bistouri ultrasonore :

Le bistouri ultrasonore est un instrument capable de découper avec précision les tissus durs et de faciliter le clivage des interfaces solides. Pour cela, il utilise des microvibrations de moyenne fréquence générées par un transducteur piézoélectrique et appliquées à des inserts durcis au nitrure de titane et/ou diamantés. (13)

Les appareils piézoélectriques sont constitués :

- D'un générateur de moyenne fréquence contenant un circuit électronique de commande et un circuit de contrôle à ultrasons relié par un cordon à un transducteur (pièce à main),
- D'une pompe péristaltique permettant une irrigation du système (de 0 à 150 ml/min) engendrant un refroidissement des inserts et permettant un effet de cavitation,
- D'inserts dont la forme et l'utilisation varient en fonction de l'indication souhaitée,
- D'une clé dynamométrique pour visser ces inserts,
- D'une pédale de commande,
- D'une pièce à main contenant un empilement de pastilles céramique piézoélectriques qui génèrent les vibrations de moyenne fréquence. Le bistouri ultrasonore se démarque des détartrateurs conventionnels selon quatre paramètres : les fréquences du générateur, la masse, la dureté et la forme des inserts. (14) (13)

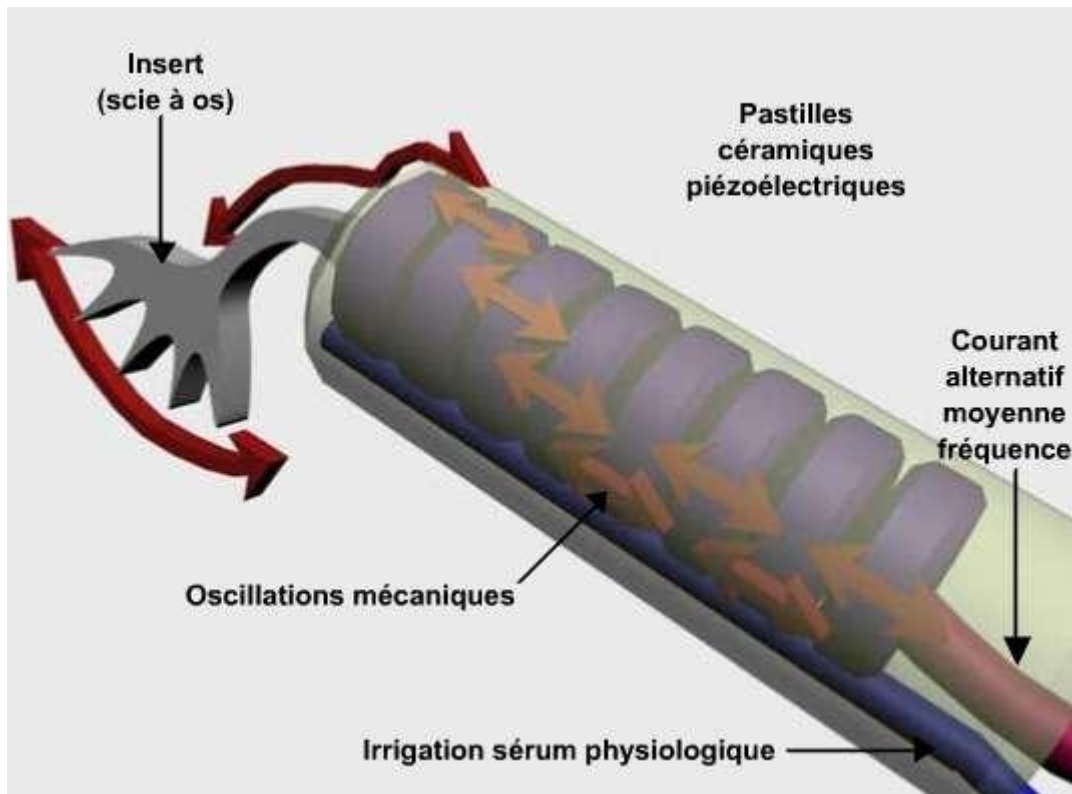


Figure 26 : Le bistouri ultrasonore. (13)

En fonction de la qualité de l'os et de la forme de l'insert, l'efficacité de coupe peut être réglée par le modulateur de fréquences. La puissance délivrée par l'instrument est comprise entre 2, 8 et 16 W, et peut aisément être modulée au moyen d'un clavier, selon la qualité osseuse présente. Une puissance importante est nécessaire pour un os plus minéralisé. Le refroidissement de la pièce à main se fait par une irrigation au sérum physiologique directement intégrée au système. (18)

Après une utilisation prolongée de la pièce à main piézochirurgicale, une pause est conseillée avant de reprendre, afin de permettre le refroidissement de l'insert et de la pièce à main. (22)

Différents paramètres sont à prendre en compte avant l'utilisation des appareils piézoélectriques :

- Le choix des inserts dépend du type d'intervention et de la qualité de l'os.
- la fréquence de vibration qui sera utilisée résulte du type d'os, de la pression

appliquée sur l'insert et de la vitesse du mouvement effectué par l'opérateur.

Ainsi, l'utilisation de la piézochirurgie impose l'adaptation à de nouveaux protocoles opératoires, qui restent simples au regard des résultats obtenus. (14)

La liste des systèmes de chirurgie piézoélectrique qui seront décrits n'est pas exhaustive.

4.2. Piezosurgery® de Mectron®

Le système Piezosurgery® fut le premier bistouri ultrasonore commercialisé. Grâce au contrôle dans les trois dimensions de l'espace des vibrations ultrasoniques, il a ouvert une nouvelle ère à l'ostéotomie et à l'ostéoplastie en implantologie, en parodontologie, en endodontie et en chirurgie orthognatique.

L'écran de contrôle de l'unit Piezosurgery® permet de choisir l'un des deux programmes de base.

Le programme « bone » permet la réalisation d'actes de chirurgie osseuse, et ceci après avoir sélectionné la qualité osseuse parmi quatre types d'os proposés.

Le programme «root» est sélectionné à la fois pour la réalisation d'actes de parodontologie et d'actes d'endodontie. (16)



Figure 27 : Le générateur Piezosurgery® (16)

Les inserts sont classés en trois groupes de formes différentes :

1 / Le groupe des inserts tranchants est adapté au traitement des structures osseuses. Ces inserts sont utilisés pour les ostéotomies et les ostéoplasties. Leur couleur dorée est liée à la présence de nitrure de titane.



Figure 28 : Inserts tranchants. (1)

2 / Le groupe des inserts à pointe émoussée et de surface diamantée, permet un travail en précision des structures osseuses. Ces inserts sont utilisés pour la réalisation d'ostéotomie à proximité de structures délicates, telles que le sinus ou le nerf alvéolaire inférieur. Ces inserts sont également utilisés pour l'ostéoplastie finale des structures osseuses. Leur couleur dorée est liée à la présence de nitrure de titane.

3 / Le groupe des inserts plats émoussés est utilisé pour travailler les tissus mous, pour surélever la membrane de Schneider par exemple. Ces inserts sont en étain.

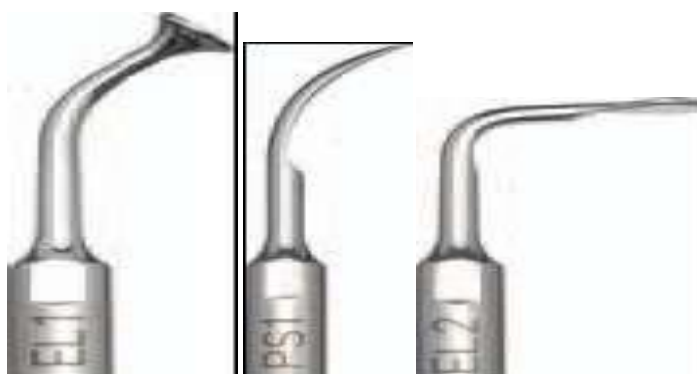


Figure 29 : Inserts plats émoussés. (16)

Différents kit d'inserts sont proposés, comme le kit « Basic » et le kit « sinus lift ». (16)

4.3. Piezotome® de SATELEC ®

4.3.1. Applications cliniques du Piezotome®

Développé au sein du Département de Recherches et Développement de SATELEC, le Piezotome est un appareil de chirurgie dentaire générateur d'ultrasons conçu pour de interventions délicates comme les ostéotomies, les ostéoplasties, les expansions de crêtes, ou les élévations de sinus. (4)



Figure30 : Le générateur Piezotome®. (4)

4.3.2. Systèmes de contrôle des instruments :

Trois systèmes de contrôle forment le « Cruise Control SystemTM », qui a pour but de réguler la puissance du Piezotome®

- Le système autoréglage de fréquence permet une régulation automatique et en temps réel de la fréquence dans une plage de 28 kHz à 36 kHz, en fonction de la résonance acoustique de l'insert. Ce système assure une restitution efficace du sens tactile.
- Le système « Push -Pull » permet de maîtriser l'amplitude des vibrations de l'insert, et assure une préservation des tissus fragiles.
- L'autre système fonctionne selon le Principe du Feed-Back, il permet d'adapter la puissance en fonction de la résistance rencontrée par l'insert (couple). (4)

4.3.3. Performances :

4.3.3.1. Mode modulation Piezotome® :

Le signal piezo modulé traduit le fonctionnement en alternance d'amplitudes hautes et basses du Piezotome. Ce mode de fonctionnement permet une relaxation tissulaire afin d'obtenir une coupe nette.

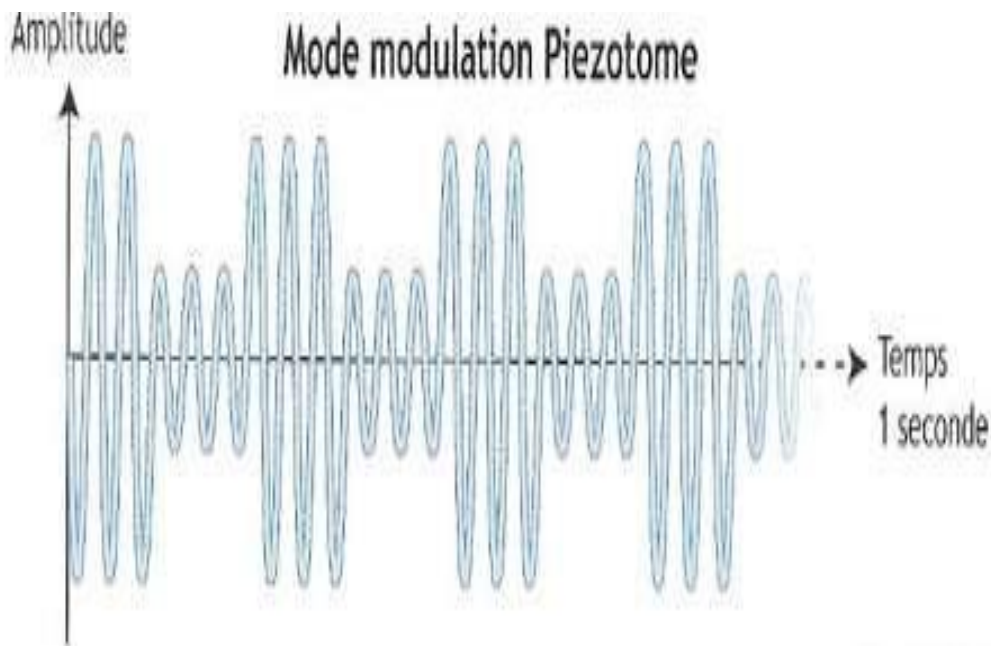


Figure 31 : Mode modulation Piezotome®. (4)

4.3.3.2. Pièce à main piézoélectrique boostée :



Figure 32 : Pièce à main Piezotome®. (4)

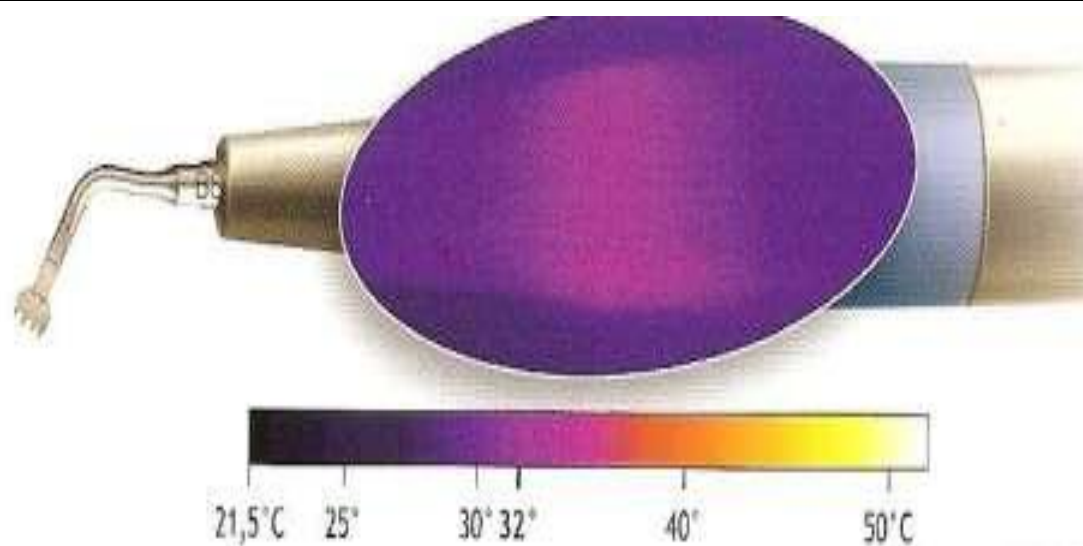


Figure 33 : Température de la pièce à main mesurée à 32°C après 15 mn de fonctionnement à pleine puissance. Mesure par caméra infrarouge Thermacam-PM 595. (4)

Au cours de longues interventions, la pièce à main Piezotome® ne présente aucun échauffement, Ce qui diminue en partie le risque de nécrose. Une évaluation de l'échauffement de l'insert aurait permis d'approfondir ces conclusions. (4)

4.3.4. Instruments d'ostéotomie :

Le kit Bone Surgery™ composé de six inserts ultrasonores, principalement destiné à la réalisation de greffe osseuse, permet de découper, d'exciser et de remodeler les structures osseuses sans risque de lésion des tissus mous.



Figure 34 : satelec implanter II, similaire à celui du service de chirurgie maxillo-faciale de l'hôpital militaire de Meknes.

1. L'insert BS1 :

L'insert BS1 est une scie ultra-coupante dotée de cinq dents spécifiquement affûtées, destinée à la découpe en profondeur d'os cortical.

L'insert BS1 présente un marquage laser à 3, 6 et 9 mm de son extrémité, ce qui facilite l'évaluation de la dimension du défaut osseux et le contrôle de la profondeur de coupe.

Cette scie à os est utilisée lors des prélèvements mentonniers et ramiques. Sa découpe en profondeur permet d'accélérer la prise de greffon. Le mouvement de coupe doit être vertical puis linéaire, joignant les puits créés par le mouvement initial.



Figure35 : Insert BS1 (4)

2. L'insert BS2L :

L'insert BS2L est une scie à os latérale à cinq dents, orientée à gauche, pour la découpe d'os cortical ramique.

Cet insert est indiqué lors de la découpe d'os cortical ramique. Orienté à gauche, il produit des traits d'ostéotomie verticaux et horizontaux sur la mandibule droite du patient.



Figure36 : Insert BS2L (4)

3. L'insert BS2R :

L'insert BS2R est l'homologue de l'insert BS2L, mais orienté à droite. Il permet l'ostéotomie sur la mandibule gauche du patient.



Figure37 : Insert BS2R. (4)

4 .L'insert BS4 :

L'insert BS4 est un scalpel circulaire orienté à 120°, pour la réalisation d'ostéoplasties et de prélèvements de particules ou copeaux d'os.

Lors d'une greffe osseuse, cet insert façonne le site receveur afin d'assurer la stabilité du greffon pour faciliter son intégration.

Utilisé lors d'une élévation de sinus, il permet de prélever des copeaux sur le volet osseux vestibulaire. L'os autogène est aspiré puis récupéré dans un filtre à os pour être intégré au matériau de comblement.

En présence de kyste, le BS4 permet de cliver le follicule kystique.



Figure38 : Insert BS4. (4)

5. L'insert BS5 :

L'insert BS5 est un scalpel plat, conçu pour la réalisation d'ostéotomies fines.

La finesse de cet insert permet la réalisation d'expansion de crête, de trait d'ostéotomie, de distraction alvéolaire, et l'ostéotomie du volet vestibulaire en présence d'une corticale épaisse dans la chirurgie du sinus.



Figure 39 : Insert BS5. (4)

6. L'insert BS6 :

L'insert BS6 est un scalpel incurvé utilisé lors d'ostéoplastie. Cet insert nettoie le site receveur, lisse les défauts de surface et élimine le périoste adhérent afin d'adapter le site receveur au greffon. Il peut servir à remodeler le greffon afin d'éliminer toute zone anguleuse ou agressive et à dissocier la corticale du greffon des tissus médullaires sous-jacents lors de la prise du greffon. Enfin, il nivelle les abords de la crête lors des expansions de crête. (4)

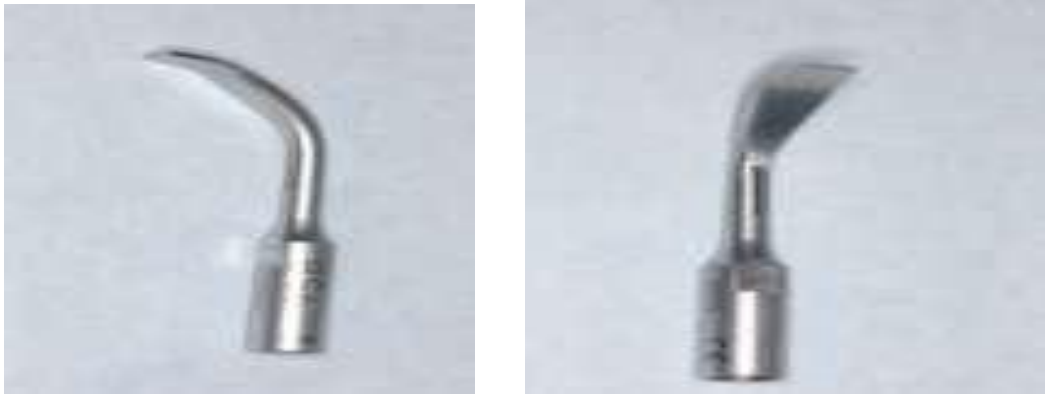


Figure 40 : Insert BS6. (4)

4.3.5. Instruments d'élévation de sinus :

Le kit Sinus Lift™ est composé de cinq inserts ultrasonores conçus pour l'élévation de sinus.

1. L'insert SL1 :

L'insert SL1 est un insert diamanté à 90 µm destiné à la découpe du volet vestibulaire osseux et à l'atténuation des angles vifs. Cet insert réalise des incisions moins agressives que les scies, et permet de préserver les structures anatomiques voisines. Pendant son utilisation, le praticien doit réaliser un balayage longitudinal constant de la surface à inciser. Le SL1 remodèle les zones osseuses sécantes susceptibles d'endommager la membrane de Schneider ou les tissus enveloppant le greffon.



Figure41 : Insert SL1. (4)

2. L'insert SL2 :

L'insert SL2 est un insert boule diamanté à 90 µm destiné au lissage des bords du volet vestibulaire osseux (os très mince) et à l'ostéoplastie. Le SL2 remodèle les zones osseuses sécantes susceptibles d'endommager la membrane de Schneider ou les tissus enveloppant le greffon.



Figure42 : Insert SL2. (4)

3. L'insert SL3 :

Le SL3 est un insert plateau, non coupant, servant à décoller la membrane de Schneider à environ 2,5 mm sur les bords de la fenêtre.

Lors de l'utilisation de cet insert il est primordial de garder un contact permanent sur l'os afin d'éviter une déchirure de la membrane sinusienne.



Figure43 : Insert SL3. (4)

4. L'insert SL4 :

L'insert SL4 est une spatule non coupante, orientée à 90°, servant au décollement de la membrane de Schneider à l'intérieur du sinus et au dégagement de structures anatomiques. Lors de l'utilisation de cet insert, le praticien doit garder en permanence le contact avec les bords osseux. Le décollement est réalisé au niveau apical, mésial puis distal.



Figure 44 : Insert SL4. (4)

5. L'insert SL5 :

L'insert SL5 est une spatule non coupante identique à l'insert SL4 mais orientée à 120°. (4)



Figure 45 : Insert SL5. (4)

4.3.6. Instruments de syndesmotomie :

L'insert LC1 est un scalpel conçu pour la réalisation de syndesmotomies et d'ostéotomies périradiculaires.

Cet insert permet de pénétrer dans l'espace parodontal entre la racine et l'os alvéolaire. Le praticien doit réaliser des mouvements de balayage. Les micro-oscillations ultrasonores entraînent la résection de la paroi osseuse alvéolaire. L'insert dessine de fines tranchées afin de faciliter l'avulsion de la dent, notamment pour l'extraction des dents incluses. (4)



Figure 46 : Insert LC1. (4)

4.3.7. Maintenance :

4.3.7.1. Décontamination et reconditionnement :

Après l'intervention, il est important de suivre la procédure de décontamination et de reconditionnement de l'appareil ainsi que des accessoires.

La ligne d'irrigation doit être purgée à l'eau distillée après chaque intervention afin d'éliminer les restes de sérum physiologique.

Les accessoires tels que le support d'inserts, les inserts, la clé, doivent être désinfectés, décontaminés et stérilisés.

La boîte de stérilisation peut suivre un processus de nettoyage physique

(brossage) et chimique (détergent). De plus, les cassettes et plateaux peuvent être placés dans un équipement de nettoyage mécanique.

L'ensemble de la pièce à main et le cordon est autoclavable. (4)

4.3.7.2. Instruments et accessoires :

L'usure des inserts doit être régulièrement vérifiée par les utilisateurs. Un insert dont la partie active est émoussée doit être changé. Les inserts diamantés doivent quant à eux être renouvelés lorsque la partie diamantée active devient lisse et brillante.

Avant chaque intervention, il est recommandé de vérifier l'intégrité du cordon de la pièce à main. Dévisser l'extrémité de la pièce à main permet d'accéder au joint d'étanchéité ainsi qu'au filetage et donc de vérifier l'état d'usure. (4)

4.3.7.3. Générateur :

Avant chaque intervention, il est nécessaire de vérifier l'intégrité des cordons secteur, de la pédale et de la pièce à main. L'ensemble du générateur et tout particulièrement le tableau de commande élaboré en matériau plastique anti-bactérien peut être nettoyé à la lingette désinfectante. Il est toutefois important d'éponger tous les liquides ayant pu pénétrés dans les interstices durant la procédure de décontamination. (4)

4.4. Surgysonic d'AMTECH :

4.4.1. Le générateur :

Le Surgysonic® (Esacrom, Imola, Italie) présente l'avantage de pouvoir être programmé avant l'intervention ou d'être réglé manuellement pendant l'intervention.



Figure 47 : Le système Surgysonic®. (19)

Les inserts de chirurgie du Surgysonic[®], dont la forme et l'utilisation varient en fonction de l'indication souhaitée, sont classés en deux catégories.

La première catégorie est celle des inserts tranchants à action coupante, réalisés en acier inoxydable 420B. Ces inserts subissent plusieurs traitements dont un traitement thermique, un traitement électrolytique anticorrosif, un affilage et sont trempés dans un bain de nitrure de titane qui améliore leur dureté. Cette catégorie d'inserts est indiquée dans les cas d'ostéotomies et de syndesmotomies.

La seconde catégorie d'inserts est celle des inserts tranchants à action coupante et polissante. Ces inserts subissent un traitement supplémentaire les recouvrant de particules de diamants. Ils sont utilisés pour les ostéotomies et pour les ostéoplasties.

(19)

4.5. Piezon Master Surgery[®] de EMS[®]

4.5.1. Le générateur

L'écran photo-électrique permet de simplifier la programmation. La LED suit les mouvements du doigt automatiquement en émettant un faible signal sonore, tout en portant des gants chirurgicaux, et même si un film de protection est disposé sur l'appareil.

Le Piezon Master Surgery[®] est composé d'une pièce à main, d'un support de poche ergonomique, d'une pompe péristaltique à haut débit, de lignes stériles à raccorder sur la pièce à main, d'un support de pièce à main stérile magnétique amovible, d'un combitorque[®]

Pour la mise en place de l'insert stérile sur la pièce à main, et d'une pédale ergonomique utilisable dans chaque position (360° degrés). (20)



Figure48 : Le système Piezon Master Surgery[®]. (20)

5. Indications générales de la piézochirurgie :

5.1. Applications cliniques en médecine :

5.1.1. Application à la chirurgie orthopédique :

En 2001, Vercellotti et coll. ont proposé d'évaluer les résultats cliniques et histologiques d'un nouvel instrument piézo-électrique dans la chirurgie orthopédique. L'étude de trois chirurgies orthopédiques exécutées sur des chiens affectés de pathologies différentes en utilisant la piézochirurgie montre une limitation du traumatisme de l'ostéotomie par rapport aux techniques conventionnelles. D'autre part, ces trois chirurgies ont été suivies par une excellente période post-opératoire avec une absence de complication et un rétablissement rapide des fonctions. Le nombre de cas étudiés est certes faible, mais les résultats sont prometteurs. (15)

En 2005, Hoigne et coll. ont employé la piézochirurgie pour la réalisation d'une chirurgie de la main. Le cas qui a été étudié sur un an est une correction de fracture du cinquième os métacarpien. La coupe étant très précise, l'instrumentation piézoélectrique est particulièrement adaptée à la chirurgie de la main. Aucune vibration ne vient perturber le déroulement de l'opération, contrairement à ce qui se produit lors de l'utilisation conventionnelle de scies. La cicatrisation a été plus rapide qu'avec l'instrumentation habituelle. Le patient a récupéré l'usage de sa main, sans perte de la sensibilité. (21)

5.1.2. Application à la chirurgie cranio-faciale :

En 2004, Eggers et coll. ont étudié l'utilisation de la piézochirurgie en chirurgie cranio-faciale pour les opérations d'avancement fronto-orbitaire chez l'enfant. La vitesse de coupe est en fonction de l'épaisseur de l'os. Quand l'épaisseur est supérieure à 3 mm, la coupe se fait à vitesse lente mais précise, et sans déchirure de la dure mère. Cette technique s'avère particulièrement utile dans ce cas. La sélectivité de l'effet de coupe permet de préserver l'os cortical avoisinant. L'os peut être mis en

forme de façon à recevoir l'apport de matériel ostéosynthétique sans se fracturer. Le nombre de fragments et la quantité de matériel ostéosynthétique sont diminués, ce qui permet un gain en termes de temps et de coût. (22)

En 2005, Schaller et coll. ont utilisé le bistouri ultrasonore en neurochirurgie chez l'enfant. Les interventions réalisées sont les suivantes : 2 craniotomies, 2 opérations de la queue de cheval, et 1 ostéotomie de l'orbite. L'ensemble des mesures post-opératoires montre un retour à la normale des fonctions neurosensorielles et l'absence de lésion des tissus mous avoisinants la région opérée. De plus, l'étude des scanners montre une bonne cicatrisation osseuse. Il en résulte, qu'en dehors de la différence d'épaisseur osseuse avec l'adulte, l'utilisation de la piézochirurgie en neurochirurgie n'est pas limitée aux interventions chez l'enfant et peut être étendue à la chirurgie chez l'adulte. (23)

En 2006, Kotrikova et coll, utilisent également la piézochirurgie pour les interventions au niveau du neurocrâne. L'application de la piézochirurgie à la chirurgie neuro-crâniale permet une diminution du risque de lésions, simplifie la technique et évite la perte de substances. De plus, l'absence d'effet sur les tissus mous assure le respect de la dure-mère, même en cas de contact accidentel. (24)

5.1.3. Application à la chirurgie orthognatique :

En 2004, Ueki et coll., ont proposé l'utilisation de curettes à os ultrasoniques en chirurgie maxillo-faciale, pour réaliser des ostéotomies de Le Fort I. Le but de l'étude est d'évaluer l'efficacité des curettes à os ultrasoniques lors de la mobilisation du procès ptérygoïdien ; l'utilisation conventionnelle d'ostéotomes entraînant trop de risques de complications. Il en résulte que l'utilisation des curettes osseuses ultrasoniques apporte une sécurité de coupe inégalée et permet une visibilité supérieure du champ opératoire grâce à l'irrigation de la pièce à main. D'autre part, le retour de la fonction masticatoire et de l'esthétique sont rapide et complets. (25)

D'autres études d'ostéotomie de Le Fort I ont été menées, notamment par Robiony M. et coll., en 2004 et en 2006, et par Guo en 2007. Ces études aboutissent aux mêmes résultats que le cas présenté. (26, 10,28)

En 2004, Gruber et coll. ont étudié l'utilisation de la piézochirurgie en chirurgie maxillo-faciale, pour la correction de six cas de malocclusion de classe II et un cas de classe III.

Il apparaît que ces ostéotomies par piézochirurgie ont été faciles à réaliser. Les microvibrations ont permis d'avoir une grande précision de coupe, sans avoir à appliquer de pressions importantes sur la pièce à main.

Ces premiers résultats permettent de préciser la possibilité d'utilisation du bistouri électrique en chirurgie orthognatique, grâce à la garantie de la sélectivité de coupe et de la précision du geste. (29)

En 2005, Stübinger et coll ont suggéré l'utilisation de la piézochirurgie en chirurgie maxillo-faciale, dans le cas d'une thérapeutique de correction d'une infracclusion unilatérale mandibulaire. La proximité du nerf alvéolaire inférieur ne permettait pas l'utilisation habituelle de la technique de distraction alvéolaire et comblement osseux. L'ostéotomie est réalisée par une technique de piézochirurgie, et sans lésion du paquet vasculo-nerveux alvéolaire à l'issue de l'opération. (5)

En 2006 et en 2007, Beziat et coll. ont également utilisé le bistouri ultrasonore en chirurgie cranio-faciale et orthognatique. Le but de leurs études était d'évaluer l'effet des ultrasons dans la réalisation d'ostéotomies, et d'en mesurer les conséquences sur les tissus mous avoisinants comme la dure-mère, la muqueuse palatine et le nerf alvéolaire inférieur.

En 2006, les interventions réalisées par chirurgie piézoélectrique étaient les suivantes : des déplacements des planchers orbitaires dans 30 cas de craniofaciosténose, des ostéotomies de Le Fort III dans 2 cas de syndrome de

Crouzon, des coupes d'os pariétal et d'os frontal dans 30 cas de craniofaciosténose.

Les interventions réalisées au bistouri ultrasonore en 2007 sont les suivantes : 144 ostéotomies de Le Fort I, 144 expansions de palais après chirurgie de Le Fort I, 140 séparations de mandibule lors d'ostéotomies sagittales bilatérales, 25 déplacements de plancher orbitaire, 15 déplacements fronto-orbitaires, 2 ostéotomies de Le Fort III, 12 prélèvements d'os cortical de la calvaria.

Différents types de données ont été relevés et comparés aux résultats observés avec les techniques conventionnelles. Il en résulte que, le temps opératoire nécessaire est supérieur à celui nécessaire avec les scies oscillantes, mais aucune comparaison ne peut être faite quant à l'absence de lésion observée sur les tissus mous et à la précision de coupe obtenue par piézochirurgie.

La piézochirurgie a permis, des découpes osseuses extrêmement précises et complètes supprimant la nécessité de terminer les sections osseuses à l'ostéotome.

A la vue des résultats obtenus, il se révèle important de définir des limites d'indications de la piézochirurgie. En effet, si le bistouri ultrasonore semble très prometteur pour les chirurgies cranio-faciales, il n'en va pas de même pour les craniotomies où les résultats obtenus ne présentent pas de réel avantage par rapport à l'instrumentation conventionnelle. (30, 31, 32)

Outre les avantages en termes de sécurité de la technique par l'absence d'effet sur les tissus mous, la piézochirurgie permet de diminuer le nombre d'étapes opératoires dans la chirurgie de la base du crâne et d'obtenir de bons résultats pour l'ensemble des patients.



Figure 49 : Ostéotomie frontale du Maxillaire, d'après Robion et coll.



Figure 50 : La muqueuse palatine ne montre pas de signe de souffrance, D'après Robion et coll

5.1.4. Application aux chirurgies Oto-Rhino-Laryngologiques :

En 2007, Salami et coll. ont proposé d'appliquer la piézochirurgie aux chirurgies ORL. Des inserts appropriés ont été créés pour réaliser des platinotomies, des antroatticotomies, des mastoïdectomies, et des ostéotomies endoauriculaires. L'étude a reposé sur l'évaluation de la fiabilité, de la précision, de l'absence de lésion des tissus mous avoisinants, et de la rapidité de la technique piézochirurgicale. De l'ensemble des cas étudiés il ressort que la piézochirurgie permet la réalisation d'un acte opératoire rapide, simple et précis, avec une sécurité de coupe, en particulier à proximité de sites anatomiques difficiles. La visibilité peropératoire, exempte de sang, permet d'effectuer l'intervention sans interruption et en assurant l'absence de lésion des tissus adjacents. (33)

En 2007, Robiony et coll. proposent l'utilisation de la piézochirurgie pour la réalisation de rhinoplastie. Le but de cette étude est de proposer l'utilisation de la piézochirurgie, technique plus délicate et plus précise, en tant qu'alternative aux instruments standards. Les avantages principaux retenus de la piézochirurgie en rhinoplastie sont la sélectivité de coupe, l'habileté et la précision du geste de coupe. Par ailleurs, les résultats esthétiques sont favorables, avec de minimes séquelles post-opératoires, telles que des oedèmes modérés qui disparaissent en quelques jours. (34)

5.1.5. Autres applications en médecine :

En 2006, Sun et coll. ont suggéré l'utilisation d'aiguilles ultrasoniques pour la réalisation de microdissections sous microscope ; le principe de coupe étant le même que celui de la chirurgie piézoélectrique. L'utilisation des ultrasons a permis la réalisation de coupes tissulaires dont l'épaisseur varie de 5 μm à 40 μm . Le trait de coupe obtenu est lisse, net et le prélèvement tissulaire est aisé. L'utilisation des ultrasons dans ce cas est donc tout à fait appropriée. Une simple variation de

fréquence, d'amplitude ou d'angulation de l'insert fait varier l'efficacité du trait de coupe, il est donc important de prendre les bons repères dès le départ. (35)

De nouvelles indications de la piézochirurgie sont couramment recherchées à travers différentes études.

5.2. Applications cliniques en odonto-stomtologie :

5.2.1 Chirurgie exodontique :

La piézochirurgie peut être utile pour la réalisation d'avulsions dentaires atraumatiques, par l'insertion de l'insert dans l'espace parodontal entre la racine et l'os. (2)

Les vibrations ultrasonores favorisent la rupture des interfaces solides permettant un clivage peu traumatique. Le bistouri ultrasonore permet donc d'extraire plus facilement certaines dents ankylosées et de limiter le risque de fracture de l'alvéole. (13)

L'instrumentation piézochirurgicale est notamment utile lors de l'avulsion de dents dont les racines sont en étroit rapport avec le nerf alvéolaire inférieur, et qu'il existe un risque de lésion du nerf par les méthodes habituelles d'avulsion. Une incision vestibulaire suivie d'une légère ostéotomie peut également être réalisées afin de mieux visualiser les limites des racines. (5)

Ainsi, le bistouri ultrasonore trouve ses applications cliniques pour les extractions des dents permanentes ou lactéales, des dents de sagesse incluses, enclavées ou à l'état de germe, des dents incluses ou enclavées, de canines incluses, d'odontoïdes ou de dents surnuméraires incluses ou enclavées, ou d'une dent en désinclusion dont la couronne est sous muqueuse. (18)

5.2.2 Chirurgie endodontique :

Certains inserts, comme les inserts de détartrage durcis au nitrure de titane et

les inserts en forme de spatule, peuvent être d'une grande aide lors du curetage de kystes et du nettoyage périapical en cours de chirurgie endodontique. (13)

5.2.3 Chirurgie parodontale :

La large variété d'inserts compatibles avec la pièce à main piézochirurgicale permet, par des réglages de fréquence, l'utilisation du bistouri ultrasonore pour le débridement des poches et le surfaçage radiculaire, ainsi que l'aménagement parodontal par ostéoplastie. Les inserts diamantés de forme tronconique permettent de redessiner avec précision et en toute sécurité le tracé des festons osseux parodontaux. (37,13)

5.2.4 Chirurgie implantaire et pré-implantaire :

En chirurgie pré-implantaire et implantaire, le bistouri piézoélectrique trouve son indication dans :

- les expansions de crête osseuse
- les ostéotomies du bord antérieur du sinus lors de comblement de sinus
- les prélèvements de greffon d'origine ramique, symphysaire ou tubérositaire
- les prélèvements particuliers, en copeaux ou en bloc d'os cortical
- les ostéotomies lors de latéralisation du nerf alvéolaire inférieur
- le décollement de la muqueuse sinusienne lors d'un comblement de sinus
- la dépose d'implants endo-osseux
- l'extraction atraumatique de dents dans les techniques d'implantation immédiate
- la préparation du site receveur dans les greffes d'apposition
- la préparation des sites pour l'ostéodistraktion
- la mise en forme et l'ébarbage des greffons lors d'ostéosynthèse
- La pose d'implants juxta-canaux. (14)

5.2.5 Autres applications en odontologie

L'utilisation de la piézochirurgie peut s'étendre à d'autres interventions de la cavité buccale, par exemple à l'exérèse de kyste.

L'exérèse de kyste, au niveau buccale, peut se faire sous anesthésie locale ; la préparation de l'os par piézochirurgie permet de cliver le kyste, et la sélectivité de l'effet de coupe limite le risque de perforation de la membrane kystique. (5)

5.3. Contre-indications

Pour le bon déroulement de l'intervention, il est important de vérifier l'état général du patient. Les contre-indications sont les mêmes que pour toute intervention chirurgicale.

Toutefois, l'utilisation d'appareils à ultrasons est contre-indiquée pour les porteurs d'implants actifs (praticien et patient) comme les stimulateurs cardiaques. De plus, certaines maladies comme les cardiopathies, le diabète, les radiothérapies et les maladies osseuses peuvent être un frein quant à la pose d'un implant. La vérification de la structure osseuse et le bilan circulatoire du patient sont des éléments primordiaux pour s'assurer d'une bonne intégration et cicatrisation. (4)

Enfin, la chirurgie piézoélectrique est actuellement contre-indiquée sur les os peu minéralisés, de type IV selon la classification de Lekholm et Zarb, rendant l'action de coupe inefficace. (14)

6. Avantages de la chirurgie piézoélectrique :

- La piézochirurgie se différencie des autres techniques par une coupe micro-métrique, dont la vitesse de coupe est plus lente qu'avec les instruments rotatifs conventionnels utilisant des vibrations macro-métriques dont la précision est nettement inférieure. L'insert travaille sur le tissu osseux en utilisant de vibrations mécaniques de 60 à 100 microns, d'où une coupe microscopique avec une largeur d'incision se situant entre 60 et 200 μm . (38, 39,15)
- La piézochirurgie se différencie également des autres techniques par ses propriétés de sélectivité de coupe. Le générateur piézoélectrique travaille par variation de faibles fréquences, entre 22 et 30 kHz, permettant une action de l'insert sur les tissus minéralisés sans dommages pour les tissus mous. (39,15)
- Le bistouri piézoélectrique doit travailler par balayage sans exercer de forces importantes sur la pièce à main, ce qui permet un meilleur contrôle du geste et de l'ostéotomie. (24, 39)
- Les oscillations microabrasives des inserts piézoélectriques donnent à la main du chirurgien une information bien plus précise sur la dureté du tissu traversé qu'une turbine ou une pièce à main, ce qui réduit d'autant les erreurs d'appréciation de la profondeur de coupe, notamment au niveau des zones anatomiquement difficiles. (40)
- L'absence de sang sur le site opératoire, grâce au phénomène de cavitation généré par les ultrasons, offre un avantage supplémentaire qui assure une visibilité maximale et augmente le confort de l'opérateur. (39,15)
- L'absence de signe de nécrose au niveau des surfaces de coupe et la présence d'ostéocytes en vie démontrent le faible traumatisme tissulaire engendré par cette technique. (15)
- Les examens macroscopiques ont permis de constater la netteté de la coupe. En effet, la surface de coupe est parfaitement lisse, sans nécrose ni

pigmentation (phénomènes qui peuvent se produire lors de l'utilisation d'instruments motorisés). (15)

- La piézochirurgie permet la réalisation d'ostéotomies particulièrement aisées sur os fins. (15)
- Le retour des fonctions motrices et sensibles est complet sans dommage neurologique ni conséquence sur les tissus avoisinants le site opératoire. (15)
- La cicatrisation primaire de l'os, après chirurgie osseuse, ostéotomie et/ou ostéoplastie, est plus rapide par piézochirurgie que par les techniques de coupe motorisées conventionnelles. D'autre part, le remodelage osseux se fait jusqu'au 56ème jour post-opératoire, alors qu'avec les techniques conventionnelles un début de perte osseuse est observé. (37, 41)
- L'instrumentation piézoélectrique, comme l'instrumentation rotative, peut être utilisée aussi bien lors d'opérations sous anesthésie générale que lors d'opérations sous anesthésie locale. (5)
- Après une période d'adaptation de l'opérateur, la différence dans la durée de l'acte opératoire devient presque négligeable par rapport à l'utilisation conventionnelle de moteurs chirurgicaux. (5)
- La vitalité pulpaire des dents avoisinantes le site opératoire est conservée, et l'élévation de température de la pièce à main est comparable aux autres techniques d'instruments rotatifs. (28)
- Les microvibrations de la piézochirurgie produisent moins de vibrations et moins de bruit que les macro-vibrations des scies et des fraises à os. Ceci permet de diminuer le stress psychologique et la peur pendant l'ostéotomie sous anesthésie locale. (44)
- Il semble que la piézochirurgie ne trouve pas une indication limitée à chirurgies mineures, mais peut également être utile pour des opérations plus délicates, et pas uniquement dans le cadre de la chirurgie buccale. (5)

7. Limites d'utilisation :

- La limite principale d'utilisation de la piézochirurgie est la gestion du facteur temps. C'est pourquoi l'utilisation de la piézochirurgie n'est pas recommandée pour des ostéotomies complexes d'os cortical dense.

D'autre part, l'utilisation du bistouri ultrasonore, même si elle demeure efficace, ralentira grandement la main du chirurgien expérimenté. Cependant, pour un praticien expérimenté, la piézochirurgie présentera un intérêt déterminant au cours d'au moins cinq interv

entions bien particulières : la dépose d'implants ostéo-intégrés, le soulèvement de sinus, les prélèvements symphysaires, rétromolaires et les déroutements de nerf alvéolaire inférieur. (24, 13,40)

- La piézochirurgie, en raison de son fonctionnement microabrasif souffre parfois d'un certain manque d'efficacité par rapport à une instrumentation plus conventionnelle. Notamment, face à des instruments rotatifs d'une grande puissance de coupe, mais également dans de nombreuses situations cliniques nécessitant un geste chirurgical simple et rapide. (13)
- Dans le but de prévenir tout type de problème au cours de l'intervention, au lieu d'augmenter la pression exercée sur la pièce à main, comme avec l'instrumentation traditionnelle, il est préférable de trouver la juste pression à apporter à la pièce à main, afin d'atteindre le résultat souhaité.
- IL est important de réaliser que l'énergie exercée par une pression trop importante sur la pièce à main peut se transformer en chaleur et risque d'entraîner des dommages sur les tissus avoisinants. (10)
- Malgré leur grande dureté, les inserts diamantés s'usent, ils ne résistent pas très longtemps à la violence des impacts microabrasifs, au risque de se briser, ou pire, d'abîmer les tissus à découper par échauffement incontrôlé.

Il est donc impossible de généraliser l'utilisation de ce système à toutes les interventions de chirurgie osseuse ; en l'occurrence, cet instrument n'a pas été conçu pour de la chirurgie orthopédique. (29,13)

- Une usure accélérée des inserts et un taux de fracture des parties travaillantes plus élevé sont observés pour des os très corticalisés. Ces fractures demeurent sans conséquences sur la qualité de la coupe, mais nécessitent une gestion attentive des stocks des inserts de rechange. (40)
- L'étude de l'effet thermique, liés à l'utilisation d'ultrasons à des fréquences de 25 à 42 kHz, sur les tissus durs et mous, a montré la présence de nécroses en surface ; phénomène qui n'a pas été retrouvé lors de l'utilisation de la piézochirurgie dont les fréquences varient entre 22 et 30 kHz. En effet, les générateurs piézoélectriques fonctionnent par intermittence de fréquences de plus faibles amplitudes, ce qui permet la relaxation tissulaire et une meilleure cicatrisation. Cependant, la température des inserts piézochirurgicaux augmente lors d'une utilisation prolongée, par conséquent, des dommages thermiques au niveau pulpaire des dents saines ne peuvent être exclus. De même, après une utilisation prolongée, il ne faut pas mettre l'insert de la pièce à main au contact des tissus mous, comme les lèvres, afin de ne pas les brûler. (29, 4, 42, 5, 43)
- Toutes ces particularités font du bistouri ultrasonore un instrument de précision et d'une efficacité indéniable pour certaines chirurgies, mais qu'il est préférable de n'utiliser que lorsque ses qualités spécifiques peuvent jouer un rôle déterminant dans la réussite du traitement. (13)
- Le recul clinique de l'utilisation de la piézochirurgie est peut-être encore insuffisant pour s'assurer de l'absence d'effet à moyen ou long termes. (29)

II. Discussions et revue de la littérature :

Notre série se compose de 14 cas :

Onze ostéotomies bi maxillaires, deux exérèses osseuses de tumeur de cuir chevelu et un prélèvement calvarial dont le diagnostic, le bilan, le traitement chirurgical et le suivi ont été effectués, par un seul et même opérateur (Pr Moumine : chef du service maxillo-facial, hôpital Mly Ismail, Meknès) permettant ainsi une certaine homogénéité dans notre étude.

1. L'AGE :

L'âge de diagnostic et de prise en charge des patients dans notre étude variait Entre 17 et 62 ans avec une moyenne d'âge de 27ans.

L'extrémité maximale d'âge se présentait chez les patients ayant une pathologie néoplasique.

La répartition est comparable à la série de **Koichiro Ueki et Akinori Moroi [48]**. Dont la moyenne d'âge est de 28 ans dans une Série de 37 patients.

2. LE SEXE :

Quant à la prédilection du sexe, dans notre série on a retrouvé une Prédominance féminine avec neuf femmes et 5 hommes et un sex-ratio H/F=1.8

Ce qui est superposable aux données de la littérature

Même prédominance retrouvée dans la série anglaise de **claire [49]**

Et de même pour la série **d'Akinori Moroi [48]**

3. RISQUE HEMORRAGIQUE :

L'emploi d'une procédure piézoélectrique permet de diminuer largement le risque d'hémorragie puisque la coupe sélective des inserts piézoélectriques n'a pas d'effet tranchant sur les vaisseaux. C'est pourquoi on observe également une diminution importante du nombre d'œdèmes postopératoires et d'ecchymoses. Chose approuvée effectivement dans notre série d'étude chez nos 14 patients. De plus, l'hémorragie est contrôlée par l'effet de cavitation induit par les ultrasons. Grâce à son irrigation, le générateur d'ultrasons piézoélectrique a un effet hémostatique au niveau des surfaces de coupe. La cavitation nettoie le champ de travail et diminue le saignement, probablement par obturation des capillaires. (50)

4. CICATRISATION (51 ; 52 ; 53 ; 54)

Dans notre série les suites chirurgicales étaient simples dont la cicatrisation pour tous nos patients.

Un des objectifs de cette méthode piézoélectrique est de faciliter la guérison. Des études histologiques ont démontré que la cicatrisation de la plaie est influencée de façon positive : D'après Vercellotti (52), une étude datant de 2005 chez le chien prouve que la technique piézoélectrique appliquée à une procédure d'ostéotomie permet d'obtenir une réparation et un remodelage osseux plus favorables qu'avec une instrumentation conventionnelle. Une activité ostéoblastique est observée juste après la chirurgie et une néoformation de tissu ostéoïde est mise en évidence lors de la première semaine postopératoire. La piézochirurgie semble être favorable à une cicatrisation osseuse rapide et de qualité. En effet, le signal modulé en amplitude permet une relaxation tissulaire et une réparation optimale pour une coupe nette. Il y aurait une augmentation précoce des protéines morphogénétiques de l'os (BMP 4 et

7), associée à un très fort taux du gène impliqué dans l'ostéogenèse (Runx2), ainsi qu'un meilleur contrôle du processus inflammatoire. On observe que le remodelage osseux se fait jusqu'au 56ème jour après chirurgie piézoélectrique, alors que cette phase n'est pas terminée après chirurgie par les autres instrumentations. (51)

En 2006, une étude menée par la « Padua University » réalise une comparaison histologique du tissu osseux après une ostéotomie faite soit par fraise, soit par piézoélectricité. Les auteurs concluent que les micro-vibrations provoquées par les ultrasons sont à l'origine d'une cicatrisation osseuse plus rapide et de meilleure qualité. (53)

La même année, une étude in vitro montre que la cicatrisation osseuse est plus rapide après avoir utilisé l'instrumentation piézoélectrique, est plus rapide. Elle observe une colonisation Osseuse néoformée après seulement 7 jours suivant la chirurgie. (54)

5. CONFORT POUR LE PATIENT

De nombreuses études ont démontré que les complications postopératoires sont moindres par rapport à une chirurgie normale. Une étude menée en 2013 sur 23 patients montre que la douleur postopératoire évaluée à 8 heures et 24 heures après la chirurgie est plus importante chez les patients ayant bénéficié d'une « chirurgie conventionnelle » par rapport à ceux ayant bénéficié d'une « chirurgie piézoélectrique ». A 36 heures postopératoires, il n'y a plus de différence entre les deux groupes. De plus, le gonflement est plus important lors d'une chirurgie conventionnelle, puis se stabilise au troisième jour. Cependant, il n'y a pas eu de différence entre les deux groupes concernant l'alimentation postopératoire, la capacité d'élocution, la reprise du travail ainsi que concernant la qualité du sommeil. (55)

Torrella en 1998 et Heinemann en 2012 ont également établi que non seulement la piézochirurgie procure plus de confort pour le patient durant l'opération, mais aussi que cette technique chirurgicale assure plus d'aisance au praticien lors de la chirurgie. (56 ; 57).

6. CONFORT POUR LE PRATICIEN :

Dans notre série l'opérateur pratiquant la piézochirurgie est seul ce qui confère à notre étude une certaine homogénéité.

Le geste chirurgical en piézochirurgie diffère de celui d'une technique conventionnelle. Il nécessite un apprentissage de la gestuelle qui permettra de trouver l'équilibre entre la pression exercée par le praticien et la vitesse du mouvement de l'insert. De plus, la connaissance de l'appareil et l'apprentissage réduisent de façon considérable le problème de rupture d'insert très fréquent au début (pression excessive de l'insert). (58)

Les oscillations micro-abrasives des inserts piézoélectriques donnent à la main du chirurgien une information bien plus précise sur la dureté du tissu traversé qu'une turbine ou une pièce à main, ce qui réduit d'autant les erreurs d'appréciation de profondeur de coupe, notamment au niveau des zones anatomiquement difficiles. (59)

Ensuite, grâce à sa sélectivité de coupe, le système piézoélectrique procure une sécurité opératoire au chirurgien, ce qui diminue le stress que peut occasionner une telle chirurgie. (60)

Enfin, l'absence de sang sur le site opératoire, grâce au phénomène de cavitation généré par les ultrasons, offre un avantage supplémentaire en assurant une visibilité maximale et en augmentant le confort de l'opérateur. (61)

7. TEMPS OPERATOIRE :

Dans notre série la durée de l'acte chirurgical complet avoisine 3h, avec un minimum de 1h : 30min et maximum de 4h : 30min.

Le temps opératoire est sensiblement augmenté par piézochirurgie, par rapport à la méthode classique. Une étude de Barone en 2008 (62), présente la procédure classique d'une durée de 10,2 +/- 2,4 minutes alors que la piézochirurgie a une durée moyenne de 11,5 +/- 3,8 minutes. Pour des parois de l'ordre de quelques millimètres, De plus de la dépendance en matière de l'expérience d'instrumentation piézoélectrique des différents chirurgiens maxillo-faciale et dentaire. (55)

Cependant, dans les zones présentant un os dense et épais, le temps nécessaire pour réaliser l'ostéotomie à l'aide de la piézochirurgie peut être largement augmenté voire même cinq fois supérieures. (63)

Certe notre série est dominée par la chirurgie orthognatique où la plupart des auteurs se concordent que l'instrumentation rotatif classique est plus rapide par rapport au piézotome mais la forme de l'insert utilisé lui confère une supériorité pour certain temps opratoire.

Ceci dit notre piézotome n'est pas de dernière génération car actuellement l'Implan center II est plus rapide.

CONCLUSION

L'utilisation d'instruments ultrasoniques pour la réalisation de chirurgies oro-maxillo faciale a été proposée depuis plus de vingt ans, notamment avec Horton JE, mais sans réellement être approfondie. Il faudra attendre 1997 pour que cette technique connaisse un nouvel essor grâce aux publications de Torella et Vercellotti. La piézochirurgie a été pensée pour simplifier les protocoles chirurgicaux, améliorer la prédictibilité des résultats et la sécurité du geste opératoire.

A l'issue de l'invention du bistouri piézoélectrique par Vercellotti en collaboration avec Mectron Medical Technology Srl, en 1998, de nombreuses publications sur ce sujet ont mis en avant les avantages de la chirurgie piézoélectrique.

L'avantage essentiel est la sélectivité de l'effet de coupe, permettant pratiquement d'exclure tout risque de lésion des tissus mous avoisinants et des structures ou tissus dentaires. Cet outil innovant permet de réaliser avec précision de nombreux actes délicats, et il reste parfaitement adapté à la réalisation de la plupart des chirurgies oro-faciale, grâce à l'utilisation des vibrations ultrasonores, il demeure un outil extrêmement sécurisant et performant pour intervenir avec maîtrise et précision.

RESUME

RESUME

Introduction : La piézoélectricité est une technique de découpe ultrasonique transformant les impulsions électriques en micro-vibrations pour faire des découpes osseuses. Elle permet de réaliser des gestes osseux sans endommager les tissus mous d'où son intérêt en chirurgie oro-maxillo-faciale.

Matériels et méthodes : Il s'agit d'une étude rétrospective, ou nous avons recueilli les différentes données intéressant l'utilisation du générateur ultrasonore piézoélectrique depuis l'acquisition du piézo-tome Implancenter en 2 mars 2013, pour 14 patients opérés dans le service de chirurgie maxillo-faciale de l'hôpital militaire Moulay Ismail de Meknès par le même opérateur.

Résultat : On a dégagé une prédominance féminine avec 64% contre 36% des hommes avec un moyen d'âge relativement jeune de 27ans avec une extrémité supérieure de 62ans présentée par la pathologie tumorale, l'indication de la piezochirurgie dans notre série a varié de 79% de la dysmorphose maxillo-mandibulaire, 14% pour l'exérèse osseuse de tumeur de cuir chevelu et 7% pour le prélèvement calvarial.

La principale contre-indication au piézo-tome a guetté avant la réalisation de l'acte était principalement la présence de pacemaker ou autre matériel électronique implantable ce qui était éliminé à 100%. Ainsi la durée moyenne de l'acte chirurgical était de 3h. Les techniques chirurgicales où le piézo-tome était utilisé variaient selon l'indication, notant qu'il y avait aucun incident per-opératoire ainsi que les suites post-opératoires étaient simples voire même que l'amélioration des patients était plus rapide.

Discussion : ces chiffres concorde avec d'autres séries de la littérature. Le taux de complication per-opératoire et post -opératoire reste minime voir absent en utilisant le piezotome du a la sécurité opératoire lors de l'abord chirurgical, grâce notamment à son efficacité sur les tissus minéralisés tout en préservant les structures anatomiques molles et fragiles. Reste comme principal inconvénient le temps opératoire prolongé bien que ce temps diminue par la suite en fonction de la courbe D'apprentissage de l'opérateur.

Conclusion :

La technologie piézoélectrique fait partie des innovations qui transforment les manœuvres les plus délicates en gestes aisés parfaitement maîtrisés. De nombreuses indications s'offrent donc à cette nouvelle instrumentation, cependant, il est important de définir un champ d'application raisonné et raisonnable afin de profiter pleinement de ses atouts sans se heurter à ses limites.

SUMMARY

Piezoelectricity is an ultrasonic cutting technique that transforms electrical pulses into micro-vibrations to make bone cuts. It allows to perform bone movements without damaging the soft tissues hence its interest in oro-maxillofacial surgery.

This is a retrospective study, or we previously collected the various data relevant to the use of the piezoelectric ultrasound generator since the acquisition of piezotome Implacenter in March 2, 2013, for 14 patients operated in the maxillofacial surgery department of the Moulay Ismail military hospital in Meknes by the same operator.

Feminine predominance was found with 64% versus 36% of men with a relatively young average age of 27 years with an upper end of 62 years presented by tumor pathology, the indication for piezochirurgie in our series varied by 79% maxillary mandibular dysmorphism, 14% for scalp tumor exeresis and 7% for calvarial removal.

The main contraindication to piezotome waiting before the act was performed was mainly the presence of pacemaker or other implantable electronic equipment which was 100% eliminated. Thus the average duration of the surgical procedure was 3h. The surgical techniques or the piezotome was used varied depending on the indication, noting that there were no per-operative incidents as well as postoperative follow-ups were simple or even that the improvement of the patients was faster.

These figures are consistent with other series in the literature. The rate of intraoperative and postoperative complication remains minimal or absent by using the piezotome due to operative safety during the surgical approach, thanks in particular to its effectiveness on mineralized tissues while preserving soft and fragile anatomical structures. The main disadvantage is the prolonged operating time although this time decreases thereafter according to the curve learning of the operator.

Piezoelectric technology is one of the innovations that transform the most delicate maneuvers into easy gestures perfectly controlled. Many indications are offered to this new instrumentation, however, it is important to define a field reasoned and reasonable application in order to take full advantage of its assets without encountering its limits.

ملخص

بيوزوتوم هو تقنية القطع بالموجات فوق الصوتية التي تحول النبضات الكهربائية إلى اهتزازات دقيقة لقطع العظام. يسمح بإجراء حركات دون الإضرار بالنسيج الرخو

هذه دراسة بأثر رجعي، وسبق جمع البيانات المختلفة ذات الصلة باستخدام مولدات الموجات فوق الصوتية كهروضغطية منذ 2 مارس 2013، على 14 مريضا في قسم جراحة الوجه والفكين في المستشفى العسكري مولاي اسماعيل في مكناس من قبل الطبيب الجراح نفسه

تم العثور على غالبية إناث ب 64 % مقابل 36% من الرجال متوسط سن بلغ 27 عاما مع حد أعلا 62 عاما في سلسلة لدينا بنسبة 79 % ديسمورپهوسيس الفك السفلي والفك العلوي Piezochirurgie وتفاوت مؤشر 14 % بالنسبة لسرطان فروة الرأس و 7 % لإزالة calvarial.

المانع الرئيسي لبيزوتوم وجود جهاز تنظيم ضربات القلب أو غيرها من المعدات الإلكترونية. وكان متوسط مدة العملية الجراحية 3 ساعات. اختلفت التقنيات الجراحية البيزوتوم حسب محدد، مشيرة إلى أنه لم تكن هناك أي حوادث أثناء الجراحة بالإضافة متابعة ما بعد الجراحة كانت جيدة و عرفت تحسن المرضى بشكل أفضل

هذه الأرقام تتسق مع السلسلات الأخرى في الأبحاث السابقة

يظل معدل المضاعفات أثناء العملية وبعد العملية الجراحية ضئيلاً أو غائباً عن طريق استخدام البيزوتوم بسبب السلامة العملية خلال النهج الجراحي ، ويرجع الفضل في ذلك على وجه الخصوص إلى فعاليته في الأنسجة المعدنية مع الحفاظ على التركيبات التشريحية الناعمة والهشة. العيب الرئيسي هو وقت التشغيل المطول على الرغم من أن هذا الوقت يتناقص بعد ذلك وفقا لتعلم منحنى المشغل.

تعد تكنولوجيا الطاقة الكهربائية واحدة من الابتكارات التي تحول المناورات الأكثر حساسية إلى إيماءات سهلة التحكم فيها بشكل كامل. يتم تقديم العديد من المؤشرات إلى هذه الأداة الجديدة ، ومع ذلك ، من المهم تحديد تطبيق منطقي ومعقول من أجل الاستفادة الكاملة من أصوله دون مواجهة حدوده

BIBLIOGRAPHIE

1. GARCIA S, KUNITZ E et SAMPSON K.

Piezoelectric effect and its applications - Historical review ; 1998.
<http://ice.chem.wisc.edu/~ice/materials/piezo.html>

2. LAMBRECHT JT.

La piézochirurgie intraorale. Schweiz Monatsschr Zahnmed 2004;114:34-36.

3. LEA SC, PRICE GJ et WALMSLEY AD.

A study to determine whether cavitation occurs around dental ultrasonic scaling instruments. Ultrason Sonochem 2005;12(3):233-236.

4. SATELEC ACTEON EQUIPEMENT (Laboratoire).

Piezotome. Livret clinique. Merignac : Satelec Acteon Equipement, 2006

5. STUBINGER S, KUTTENBERGER J, FILIPPI A et coll.

Intraoral piezosurgery: preliminary results of a new technique. J Oral Maxillofac Surg 2005;63(9):1283-1287.

6. HORTON JE, TARPLEY TM et JACOWAY JR.

Clinical applications of ultrasonic instrumentation in the surgical removal of bone. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1981;51(3):236-242.

7. HORTON JE, TARPLEY TM et WOOD LD.

The healing of surgical defects in alveolar bone produced with ultrasonic instrumentation, chisel, and rotary bur. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1975;39(4):536-546.

8. KHAMBAY BS et WALMSLEY AD.

Investigations into the use of an ultrasonic chisel to cut bone. Part 1: Forces applied by clinicians. J Dent 2000a;28(1):31-37.

9. KHAMBAY BS et WALMSLEY AD.

Investigations into the use of an ultrasonic chisel to cut bone. Part 2: Cutting ability. J Dent 2000b;28(1):39-44.

10. ROBIONY M, POLINI F, COSTA F et coll.

Piezoelectric bone cutting in multipiece maxillary osteotomies. J Oral Maxillofac Surg 2004;62(6):759-761.

11. CHARBIT Y, HITZIG C et DISS A.

Élévation du plancher sinusien par chirurgie piézoélectrique. Chir Dent Fr 2005;1211:49-53.

12. CAPELLI M.

Autogenous bone graft from the mandibular ramus: a technique for bone augmentation. Int J Periodont Rest Dent 2003;23(3):277-285.

13. LECLERCQ P et DOHAN D.

De l'intérêt du bistouri ultrasonore en implantologie: technologies, applications cliniques. Première partie: technologies. Implants 2004a; 13:151-157.

14. KOSKIEVIC J.

Apport de la piézo-électricité en chirurgie implantaire. [http:// www.abcdent.fr](http://www.abcdent.fr)

15. VERCELLOTTI T, CROVACE A, PALERMO A et MOLFETTA

I. The piezoelectric osteotomy in orthopedics: clinical and histological evaluations (pilot study in animals). Medit J Surg Med 2001;9(4):89-96.

16. MECTRON SRL (Laboratoire).

Piezosurgery. Livret clinique. Carasco : Mectron, 2007.

17. VERCELLOTTI T, NEVINS ML, KIM DM et coll.

Osseous response following resective therapy with piezosurgery. Int J Periodont Rest Dent 2005;25(6):543-549.

18. KOSKIEVIC J.

Intérêt du bistouri piézo-électrique en chirurgie buccale. Lettre Stomatol 2006;32(11):23-25.

19. AMTECH SARL (Laboratoire).

Surgysonic. Livret clinique. Moissy-Cramayel : Amtech, 2006.

20. EMS France (Laboratoire).

Piezon Amtech, 2006. Master Surgery. Livret clinique. Vélizy-villacoublay : EMS France, 2006.

21. HOIGNE DJ, STUBLINGER S, VON KAENEL O et coll.

Piezoelectric osteotomy in hand surgery: first experiences with a new technique. BMC Musculoskelet Discord 2006;7:36.

22. EGGERS G, KLEIN J, BLANK J et HASSFELD S.

Piezosurgery: an ultrasound device for cutting bone and its use and limitations in maxillofacial surgery. Br J Oral Maxillofac Surg 2004;42(5):451-453.

23. SCHALLER BJ, GRUBER R, MERTEN HA et coll.

Piezoelectric bone surgery: a revolutionary technique for minimally invasive surgery in cranial base and spinal surgery? Technical note. Neurosurgery 2005;57(4 Suppl):E410; discussion E410.

24. KOTRIKOVA B, WIRTZ R, KREMPIEN R et coll.

Piezosurgery--a new safe technique in cranial osteoplasty? Int J Oral Maxillofac Surg 2006;35(5):461-465.

25. UEKI K, NAKAWAGA K, MARUKAWA K et YAMAMOTO E.

Le Fort I osteotomy using an ultrasonic bone curette to fracture the pterygoid plates. J Craniomaxillofac Surg 2004;32(6):381-386.

26. AIMETTI M, ROMAGNOLI R, RICCI G et MASSEI G.

Maxillary sinus elevation : the effect of macrolacerations and microlacerations of the sinus membrane as determined by endoscopy. Int J Periodont Rest Dent 2001;21(6):581-589.

27. ROBIONY M, POLINI F, COSTA F et coll.

Piezoelectric bone cutting in multipiece maxillary osteotomies. *J Oral Maxillofac Surg* 2004;62(6):759–761.

28. ROBIONY M, POLINI F, COSTA F et coll.

Ultrasonic bone cutting for surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME) under local anaesthesia. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2007;36(3):267–269.

29. GRUBER RM, KRAMER FJ, MERTEN HA et SCHLIEPHAKE H.

Ultrasonic surgery--an alternative way in orthognathic surgery of the mandible. A pilot study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2005;34(6):590–593.

30. BEZIAT JL, BERA JC, LAVANDIER B et GLEIZAL A.

Ultrasonic osteotomy as a new technique in craniomaxillofacial surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2007;36(6):493–500.

31. BEZIAT JL, VERCELLOTTI T et GLEIZAL A.

Qu'est-ce que la Piezosurgery®? Intérêt en chirurgie craniomaxillofaciale. A propos de deux ans d'expérience. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 2007;108(2):101–107.

32. GLEIZAL A, BERA JC, LAVANDIER B et BEZIAT JL.

Piezoelectric osteotomy: a new technique for bone surgery--advantages in craniofacial surgery. *Childs Nerv Syst* 2007;23(5):509–513.

33. SALAMI A, VERCELLOTTI T, MORA R et coll.

Piezoelectric bone surgery in otologic surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2007;136(3):484–485.

34. ROBIONY M, POLINI F, COSTA F et coll.

Ultrasound piezoelectric vibrations to perform osteotomies in rhinoplasty. *J Oral Maxillofac Surg* 2007;65(5):1035–1038.

35. SUN L, WANG H, CHEN L et LIU Y.

A novel ultrasonic micro-dissection technique for biomedicine. *Ultrasonics* 2006;44(22):e255–e260.

36. KOSKIEVIC J.

Intérêt du bistouri piezo-électrique en chirurgie buccale. *Lettre Stomatol* 2006;32(11):23–25.

37. BUSSLINGER A, LAMPE K, BEUCHAT M et LEHMANN B.

A comparative in vitro study of a magnetostrictive and a piezoelectric ultrasonic scaling instrument. *J Clin Periodontol* 2001;28(7):642–649.

38. SIERVO S, RUGGLI-MILIC S, RADICI M et coll.

La piézochirurgie intraorale : une méthode alternative pour la chirurgie ménageant les tissus mous. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2004;114(4):373–377.

39. VERCELLOTTI T.

Technological characteristics and clinical indications of piezoelectric bone surgery. *Minerva Stomatol* 2004;53(5):207–214.

40. LECLERCQ P et DOHAN D.

De l'intérêt du bistouri ultrasonore en implantologie : technologies, applications cliniques. Deuxième partie : applications cliniques. *Implandontie* 2004b;13:159–165.

41. PRETI G, MARTINASSO G, PEIRONE B et coll.

Cytokines and growth factors involved in the osseointegration of oral titanium implants positioned using piezoelectric bone surgery versus a drill technique: a pilot study in minipigs. *J Periodontol* 2007;78(4):716–722.

42. SIVOLELLA S, BERENGO M, FIOROT M et MAZZUCHIN M.

Retrieval of blade implants with piezosurgery: two clinical cases. *Minerva Stomatol* 2007;56(1–2):53–61.

43. WALMSLEY AD, LAIRD WR et WILLIAMS AR.

Intra-vascular thrombosis associated with dental ultrasound. J Oral Pathol 1987;16(5):256-259.

44. SOHN DS, AHN MR, LEE WH, YEO DS et LIM SY.

Piezoelectric osteotomy for intraoral harvesting of bone blocks. Int J Periodont Rest Dent 2007;27(2):127-131.

45. LECLERCQ P et DOHAN D.

De l'intérêt du bistouri ultrasonore en implantologie: technologies, applications cliniques. Première partie : technologies. Implants 2004a;13:151-157.

46. LEA SC, PRICE GJ et WALMSLEY AD.

A study to determine whether cavitation occurs around dental ultrasonic scaling instruments. Ultrason Sonochem 2005;12(3):233-236.

47. BOYNARD M.

Les ultrasons en médecine et en biologie. http://naxos.biomedicale.univ-paris5.fr/diue/IMG/pdf/MB2005.1.Propagation_26.pdf

48. Time-course change in temporomandibular joint space after advancement and setback mandibular osteotomy with Le Fort I osteotomy Koichiro Ueki, Akinori Moroi, Takamitsu Tsutsui, Ryota

Hiraide, Akihiro Takayama, Yuki Saito, Momoko Sato, Nana Baba, Tatsuya Tsunoda,

49. Harrington, J.R. Gallagher, A. Borzabadi-Farahani, A

retrospective analysis of dentofacial deformities and orthognathic surgeries using the index of orthognathic functional treatment needs (IOFTN), International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology .

50– Blus C, Szmukler–Moncler S

Relevance of soft tissue cutting with an ultra-sonic surgical device.

Clin Oral Implants Res 2007 (Abstract).

51– Chiriac G, Herten M, Schwarz F, Rothamel D, Becker J

Autogenous bone chips : influence of a new piezoelectric device (Piezosurgery) on chip morphology, cell viability and differentiation.

J Clin Periodontol. 2005 Sep ;32(9) :994–9.

52– Labanca M, Azzola F, Vinci R, Rodella LF

Piezoelectric surgery : twenty years of use. Br J Oral Maxillofac Surg. 2008 Jun ; 46(4) :265–9.

53 – Siervo S, Ruggli–Milic S, Radici M, Siervo P, Jäger K

Piezoelectric surgery. An alternative method of minimally invasive surgery. 2013.

54– Vercellotti T, Nevins ML, Kim DM, Nevins M, Wada K, Schenk RK, Fiorellini JP

Osseous response following resective therapy with piezosurgery.

Int J Periodontics Retorative Dent. 2005 Dec ; 25(6) :543–9.

55– Delilbasi C, Gurler G

Comparison of piezosurgery and conventional rotative instruments in direct sinus lifting.

Implant Dent. 2013 Dec;22(6):662–5.

56– Heinemann F, Hasan I, Kunert–Keil C, et al.

Experimental and histological investigations of the bone using two different oscillating

Osteotomy techniques compared with conventional rotary osteotomy.

Ann Anat. 2012;194:165–170.

57– Torella F, Pitarch , Cabanes G, Anitua E

Ultrasonic osteotomy for the surgical approach of the maxillary sinus: A technical note.

Int. J. Oral. Maxillofac. Implants.1998; 13: 697–700.

58– Torella F, Pitarch, Cabanes G, Anitua E

Ultrasonic osteotomy for the surgical approach of the maxillary sinus: A technical note.

Int. J. Oral. Maxillofac. Implants.1998; 13: 697–700.

59– Leclercq P, Dohan D

De l'intérêt du bistouri ultrasonore en implantologie : technologies, applications cliniques. Première partie : technologies.

Implandontie. 2004.

60– Carini F, Saggese V, Porcaro G, Baldoni M

Piezoelectric surgery in dentistry : a review.

Minerva Stomatologica. 2014 Jan–Feb;63(1–2):7–34.

61– Vercellotti T, Crovace A, Palermo A, Molfetta A.

The piezoelectric osteotomy in orthopedics: Clinical and histological evaluations (Pilot study in animals).

Mediterranean Journal of Surg Med. 2001; 9: 89–95.

62 – Barone A, Santini S, Marconcini S, et al.

Osteotomy and membrane elevation during the maxillary sinus augmentation procedure.

A comparative study: Piezoelectric device vs. Conventional rotative instruments.

Clin Oral Implants Res. 2008; 19:511–515.

63– Kotrikova B, Wirtz R, Krempien R

Piezosurgery : a new safe technique in cranial osteoplasty?

Int J Oral Maxillofac Surg, 2006.