

MINISTERE DE LA SANTE
REGION LORRAINE
INSTITUT DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE
DE NANCY

REVUE A PROPOS DES ULTRASONS A VISEE THERAPEUTIQUE

Rapport de travail écrit personnel
présenté par **Julien CLERC**
étudiant en 3^{ème} année de
kinésithérapie en vue de l'obtention
du Diplôme d'Etat de Masseur-
Kinésithérapeute 2006-2007.

SOMMAIRE

	Page
RESUME	
1. INTRODUCTION	1
1.1. Historique.....	1
1.1.1. Histoire.....	1
1.1.2. Décret de compétence.....	1
1.2. Définition.....	2
1.2.1. Production des Ultrasons.....	2
1.2.2. Caractéristiques de l'onde ultrasonore.....	2
2. LES ACTIONS BIOPHYSIQUES DES U. S. ET LE TISSU VIVANT	6
2.1. Les mécanismes thermiques.....	6
2.2. Les mécanismes athermiques.....	9
2.2.1. La cavitation.....	9
2.2.2 Les micro-mouvements.....	9
2.2.3. La fréquence de résonance.....	10
3. EFFETS DES U. S. ET CONDUITE THERAPEUTIQUE	10
3.1. Tableau récapitulatif.....	10
3.2. Contre-indications et indications.....	13
3.2.1. Contre-indications.....	13
3.2.2. Indications.....	15
3.2.3. Autres.....	17
4. APPLICATION PRATIQUE	18
4.1. Les différentes étapes.....	18
4.2. Notion de dosage.....	20
4.3. Entretien du matériel.....	23
5. DISCUSSION	24
6. CONCLUSION	25
GLOSSAIRE	
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

1. INTRODUCTION

Ce travail écrit a été rédigé à partir d'une consultation bibliographique. La première idée étant de présenter une synthèse de connaissances scientifiques sur les **Ultrasons** (U. S.) et leurs propriétés. La seconde idée étant de rassembler des études qualitatives, validant ou non l'efficacité des U. S., afin de dresser un tableau actualisé des indications et contre-indications.

1.1. Historique

1.1.1. Histoire (9) (25) (57)

La découverte des U. S. en 1910 par Langevin fait suite aux travaux de Pierre et Jacques Curie sur la piézo-électricité en 1880 (propriété d'un corps à se déformer lorsque nous lui appliquons un champ électrique) (2). Leur première utilisation thérapeutique remonte à une cinquantaine d'années. Elle est actuellement très large dans le domaine médical (électrophysiothérapie, imagerie...).

1.1.2. Décret de compétence

Le décret n° 96-879 relatif aux actes professionnels et à l'exercice de la profession de masseur kinésithérapeute modifié par le décret n° 2000-577 du 27-06-2000 donne le droit au thérapeute, sur prescription médicale, d'utiliser les ondes mécaniques en électrophysiothérapie, incluant les U. S., pour la mise en œuvre des traitements.

1.2. Définition

1.2.1. Production des U. S. (9) (25) (57)

Un générateur de hautes fréquences alimente un quartz, ayant des propriétés piézo-électriques, placé dans un cache métallique, le transducteur (fig. 1). Les U. S. naissants sont des vibrations mécaniques produites par l'alternance de dilatations et de compressions de ce même quartz. Ces mouvements de va-et-vient des particules se propagent dans les tissus des couches superficielles aux plus profondes. Cette propagation se fait de manière longitudinale en milieu solide ou liquide. En médecine, nous utilisons des vibrations de 45 KHz à 3 MHz selon deux modes d'émission possible : continu ou pulsé.

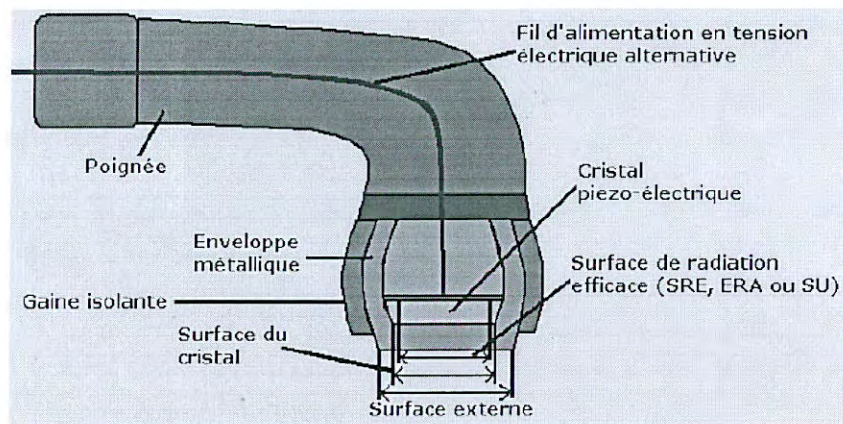


Figure 1 : image détaillée d'un transducteur (25)

1.2.2. Caractéristiques de l'onde ultrasonore (9) (25) (57)

Une onde est définie par différents critères :

La fréquence est le nombre de fois qu'une particule effectue un cycle de pression/dépression en une seconde, elle s'exprime en Hertz (Hz).

Sa puissance représente l'intensité par unité de surface du faisceau, elle s'exprime en watts par centimètre carré (W/cm^2).

L'absorption est la transformation de l'onde ultrasonore principalement en énergie calorifique lorsqu'elle traverse les tissus. Elle est liée à la fréquence qui génère des phénomènes de friction moléculaire produisant de la chaleur. Plus ceux-ci sont importants (fréquence élevée) moins les ondes pénètrent profondément car elles sont rapidement absorbées. Les U. S. d'une fréquence de 1 MHz sont absorbés moins rapidement dans les tissus, par rapport à une fréquence de 3 MHz, et agissent à une plus grande profondeur. L'absorption est également liée à la nature du tissu (expliqué à la page 9).

La réfraction est une déviation du faisceau lorsque celui-ci ne frappe pas la surface avec un angle de 90° (transducteur perpendiculaire à la surface). Il se produit alors une perte énergétique. Un angle critique de 15° par rapport à la verticale a été établi au dessus duquel aucune énergie n'était transmise aux tissus vivants puisque le faisceau résultant à un trajet parallèle à la surface (fig. 2, 3 et 4).

La réflexion concerne les ondes ultrasonores qui reviennent vers la source d'émission. Il y a des risques de brûlure par l'accumulation de puissance (les ondes stationnaires rencontrent les ondes directes et des pics de chaleur se forment) d'où la nécessité de déplacer régulièrement la tête (fig. 2, 3 et 4).

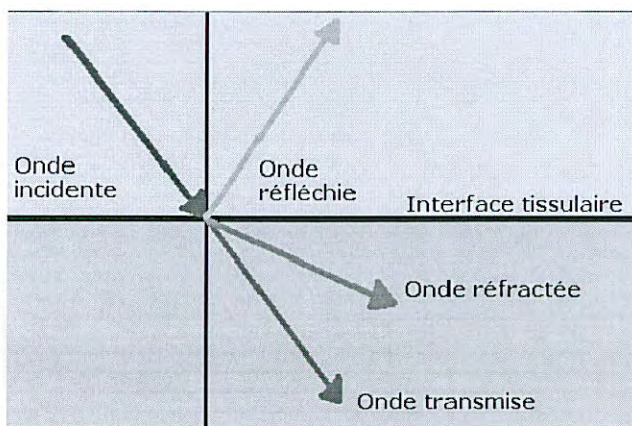


Figure 2 : directions possibles des ondes sonores (25)

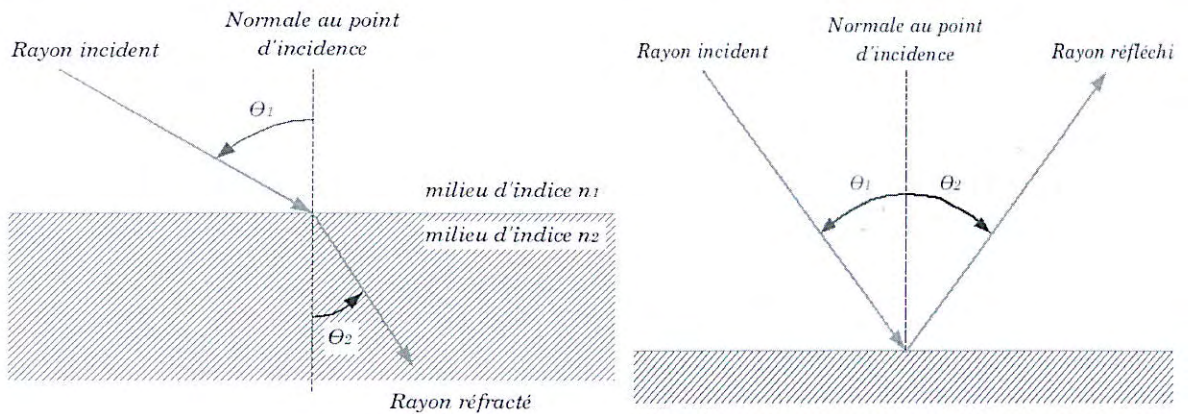


Figure 3 et Figure 4 : schémas de la réfraction et de la réflexion (Wikipédia)

La propagation : la pénétration se fait en ligne droite décrivant un champ ultrasonore et une longueur d'onde. Elle évolue seulement en milieu solide ou liquide. Elle est arrêtée par une mince couche d'air. La distance de pénétration est définie à une profondeur équivalente une absorption de 50 % de la puissance énergétique des U. S. L'onde atteint 5 à 8 cm de profondeur avec une fréquence de 1 MHz et moins de 3 cm avec une fréquence de 3 MHz.

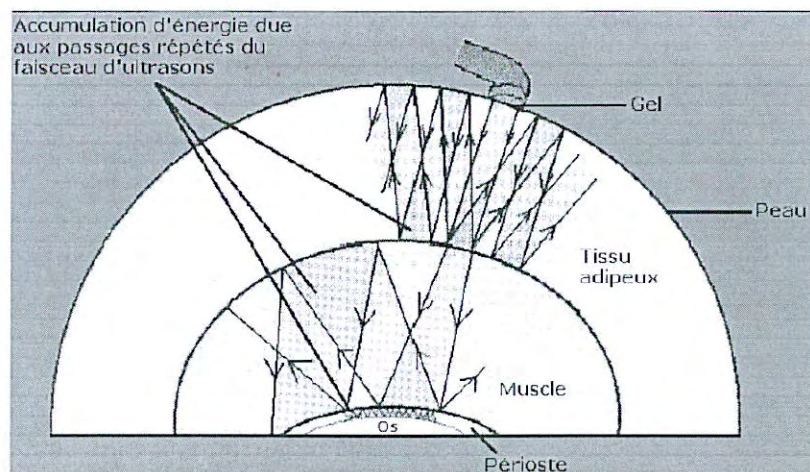


Figure 5 : orientation des ondes sonores dans les tissus (25)

La vitesse est le déplacement de la vague ultrasonore et dépend du milieu traversé. Elle s'exprime en mètre par seconde (ex : 1500 m/s dans l'eau, 1540 m/s dans le muscle, 340 m/s dans l'air). Elle est plus élevée en milieu dense (ex : os, métal).

La longueur d'onde est la distance qui sépare deux crêtes successives d'une onde périodique (fig. 6).

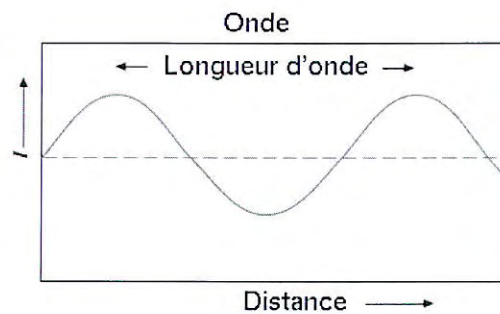


Figure 6 : schéma de la longueur d'onde (Wikipédia)

Les ondes se propagent au travers du champ ultrasonore. Il se compose d'un champ proche (de Fresnel) et d'un champ lointain (de Fraunhofer). (ANNEXE II)

Le champ proche est efficace au niveau thérapeutique car il est convergent et possède une régularité spatiale de l'émission vibratoire. Mais il existe des interférences dues à l'arrondissement des ondes planes du faisceau. Celles-ci provoquent des pics de chaleur supérieurs au dosage réglé (inhomogénéité du réchauffement tissulaire), seule une partie de la surface de la tête émet au dosage voulu. Il existe alors deux normes qui devraient figurer sur chaque appareil : (ANNEXE I)

- Le B. N. R. (Beam Non Uniformity Ratio) est un indicateur de qualité et de sécurité qui représente le rapport entre la valeur de pointe (pic) et la valeur moyenne pré-réglée de l'intensité du faisceau (ex : un B. N. R. à 4 représente un pic d'intensité de 4 fois supérieur à la valeur choisie).

- L'E. R. A. (Effective Radiating Area) renvoie à la zone efficace de la pièce métallique qui émet les U. S. . Le cristal piézo-électrique ne vibrant pas uniformément, l'E. R. A. est toujours plus petite que la surface géométrique de la tête de traitement. Cette zone est indiquée sur l'appareil. Elle est importante puisqu'elle conditionne la durée du traitement.

Le champ lointain est moins efficace car l'onde y est désorganisée par sa divergence, ceci diminue les phénomènes d'interférences. La longueur d'onde dépend de la fréquence et de la vitesse. Sa taille est d'environ 1,5 mm pour une fréquence de 1 MHz et 0,5 mm pour une fréquence de 3 Mhz.

2. LES ACTIONS BIOPHYSIQUES DES U. S. ET LE TISSU

VIVANT (5) (6) (9) (21) (22) (23) (24) (25) (45) (57)

Il existe différents mécanismes impliqués :

- Thermiques.
- Athermiques ou mécaniques.

Ceux-ci sont très souvent intriqués, et peuvent difficilement être dissociés les uns des autres. Mais nous pouvons penser que le mécanisme dominant sera influencé par les paramètres de traitement (fréquence, puissance, mode). C'est au thérapeute de bien cerner son objectif lors de l'application.

2.1. Les mécanismes thermiques

L'énergie ultrasonore est en grande partie transformée en chaleur à la suite du frottement des particules en vibration et aux mouvements des bulles de cavitation lors de la succession des pressions/dépressions. L'augmentation de la température est plus marquée au centre du faisceau qu'en périphérie et diminue au fur et à mesure que l'onde pénètre dans le

tissu. Les réactions thermiques se produisent essentiellement aux sites de réflexion. Du fait des différences de coefficients d'absorption (impédance acoustique du tissu), des réflexions et des interférences, la production de chaleur dans le champ d'action des ultrasons n'est pas homogène. La température de l'échauffement tissulaire est limitée à environ 42°C par le processus de thermorégulation de l'organisme. (ANNEXE III)

A partir d'une augmentation de 1° à 2°C, le métabolisme cellulaire s'accroît. De 2° à 4°C, les spasmes et la douleur diminuent et la circulation augmente. Au delà de 4°C, il y a une modification des propriétés viscoélastiques du collagène.

La thermogénèse ultrasonore dépend de plusieurs facteurs :

- **L'intensité émise** : la température est d'autant plus élevée que l'intensité est importante.
- **La distance du transducteur** : la température diminue si nous éloignons le transducteur.
- **L'absorption** : plus un tissu possède un taux de protéines et de collagène important, plus l'effet thermique augmente (muscles, tendons, ligaments, capsule).
- **La fréquence** : la température augmente en superficie pour une fréquence de 3MHz et en profondeur pour une fréquence de 1MHz (fig.7).

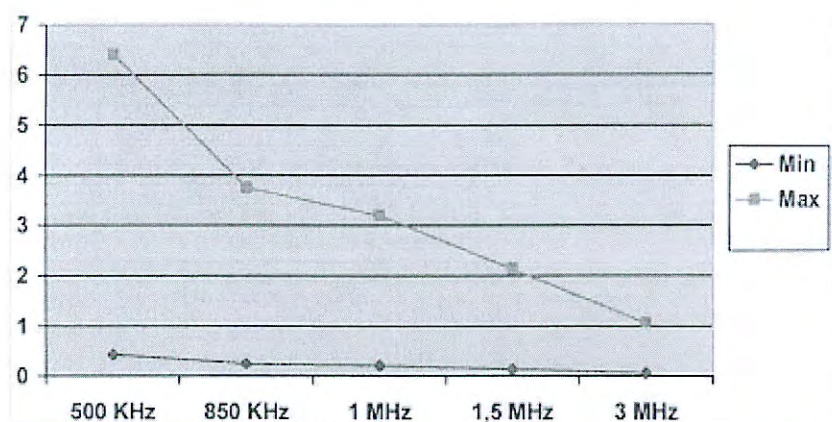


Figure 7 : Pénétration tissulaire (cm) en fonction de la fréquence (d'après Pohlmann)

- **Le mode d'émission** : en continu la puissance est constante et en pulsé il y a une interruption pré réglée du faisceau. Il faut déterminer le coefficient d'opération qui correspond au temps durant lequel le faisceau est actif. Il s'exprime en pourcentage (tab. I). Le mode pulsé permet de diminuer l'effet de la chaleur voire de l'annuler, mais le temps d'application doit être augmenté. Par exemple le rapport 1 : 4 signifie que pour un cycle de 5 ms la machine sera active 1 ms et au repos 4 ms. Cependant cette notion reste encore discutée et certains auteurs démontrent que la température augmente quel que soit le mode (31).

Tableau 1 : les différents modes d'impulsion (67)

Mode	Rapport d'impulsion	Coefficient d'utilisation
Continu	-	100 %
Pulsé	1 : 1	50 %
-	1 : 2	33 %
-	1 : 3	25 %
-	1 : 4	20 %
-	1 : 9	10 %

- **L'évacuation de la chaleur** : la température augmente moins dans les tissus où la perfusion et la circulation y sont importantes, c'est la thermorégulation.

- **Le diamètre du transducteur** : en fonction de la fréquence et le temps pré réglé, la température est plus importante avec un transducteur large qu'avec un transducteur étroit. Cela fait référence à l'E. R. A. (ANNEXE I et IX)

- **La nature du tissu** : nous parlons d'impédance acoustique. Un tissu possédant un taux important de collagène et de protéines favorise l'absorption. Plus l'écart entre deux impédances est grand, moins il y a de transmission. Les effets thermiques des U. S. se localisent surtout au niveau des structures articulaires et péri articulaires (ménisque, capsule, tendon, ligament).

2.2. Les mécanismes athermique (19) (21) (42) (62)

Ils sont dus aux micros - mouvements particulaires, à la cavitation et la fréquence de résonance. Ils interviennent dans les processus métaboliques en augmentant le niveau d'activité cellulaire et la perméabilité membranaire.

2.2.1. La cavitation

C'est la présence de gaz sous forme de bulles qui vont être mises en mouvement du fait de la variation de pression dans les tissus lors du passage des U. S. (phénomène d'ébullition). Elle peut être **stable** à une faible intensité, ainsi avoir un impact thérapeutique car liée au phénomène appelé «*ruissellement acoustique*» (explicité dans le chapitre 2.2.2), permettant d'agir sur les composants cellulaires. Elle peut être **instable** à une plus forte intensité et occasionner la rupture de ces mêmes liens cellulaires par l'explosion des bulles.

(ANNEXE IV)

Mais la cavitation n'existerait pas aux doses thérapeutiques (pour une fréquence de 1 MHz en mode massage, elle apparaîtrait à une intensité supérieure de 4 W/cm² et de 1 à 2 W/cm² en mode ponctuel). (6) (42) (57)

2.2.2. Les micro - mouvements

Les pressions alternativement positives et négatives ont un effet mécanique intense sur les tissus. A cela s'ajoutent les micro - courants définis par la rotation des bulles de cavitation sur elles mêmes associée aux mouvements liquidiens unidirectionnels le long de la membrane cellulaire (ruissellement acoustique). Il y a une augmentation de perméabilité des membranes cellulaires et une vasodilatation locale (42) (ANNEXE V).

2.2.3. La fréquence de résonance (42)

L'absorption de l'énergie mécanique par des protéines enzymatiques dans la cellule produit une modification structurelle moléculaire qui active ces enzymes. Différentes fréquences vont pouvoir induire des changements structurels inhibiteurs ou activateurs.

3. EFFETS DES U. S. ET CONDUITE THERAPEUTIQUE (6) (25)

3.1. Tableau récapitulatif

Tableau II : rappel des effets physiologiques et thérapeutiques

	<u>Effets thermiques</u>	<u>Effets mécaniques</u>
<u>Physiologiques</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la circulation du sang et vasodilatation. - Diminution du seuil d'excitabilité des fibres sensibles inhibitrices. - Augmentation du seuil d'excitabilité des nocicepteurs. - Diminution de l'activité des fuseaux neuromusculaires. - Augmentation du métabolisme cellulaire. - Diminution de la viscosité du liquide interstitiel. - Augmentation de la température tissulaire. - Augmentation de l'extensibilité tissulaire. 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la perméabilité de la membrane cellulaire. - Augmentation des échanges et de la vitesse ionique transmembranaires. - Augmentation de la phagocytose. - Action fibrinolytique. - Ralentissement de la conduction nerveuse. - Effet piézo-électrique dans le tissu traversé favorisant la synthèse du collagène. - Ralentissement de la circulation. - Augmentation de la perméabilité vasculaire et lymphatique. - Augmentation du métabolisme cellulaire.
<u>Thérapeutiques</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Antalgique. - Diminution des spasmes musculaires. - Accélération du mécanisme de cicatrisation tissulaire. - Diminution des raideurs articulaires. - Diminution des inflammations chroniques. 	<ul style="list-style-type: none"> - Antalgique. - Diminution des spasmes musculaires. - Diminution des oedèmes. - Accélération du mécanisme de cicatrisation tissulaire. - Diminution des adhérences. - Augmentation de la sonophorèse (détaillée à la page 12).

Il nous semble intéressant de détailler certaines des actions physiologiques expliquant leurs effets thérapeutiques :

L'action **antalgique** est apportée par la recrudescence de l'afflux sanguin entraînant un drainage des substances algogènes. Les mécanismes du Gate Control seront mis en œuvre par l'intermédiaire des stimulations cutanées, vibratoires et thermiques. Il y a également une augmentation du seuil douloureux des fibres nerveuses périphériques **(25) (57)**.

Les effets thermiques et mécaniques inhibent l'activité des fuseaux neuromusculaires pour vaincre les **spasmes musculaires (25)**.

Le processus de **cicatrisation** du tissu est une série complexe d'évènements chimiques. Les U. S. ne seraient pas anti mais pro-inflammatoires en stimulant l'activité cellulaire. Pendant la phase inflammatoire, ils ont un effet stimulant sur la fibrinolyse, sur les cellules blanches phagocytaires et macrophages. A la phase suivante, migratoire et proliférative (production de la cicatrice), ils maximisent l'action des cellules endothéliales, des fibroblastes et des myofibroblastes générateurs de fibres de collagène. Lors de cet acte, l'angiogénèse (formation de vaisseaux) est plus importante. Enfin, à la phase de transformation, ils vont permettre l'orientation et le remodelage du collagène de type III en type I le rendant plus résistant **(6) (42) (68)**.

La diminution des **raideurs articulaires** et l'amélioration des **amplitudes articulaires** seront permises par la production de chaleur qui va diminuer la viscosité et accroître l'extensibilité tissulaire (collagène). L'action fibrinolytique (dilacération des fibres du tissu conjonctif) des effets mécaniques fera céder les adhérences et l'effet piézo-électrique favorisera l'alignement des fibres de collagène **(23) (42)**.

La **sonophorèse ou phonophorèse** représente le passage de substances médicamenteuses au travers des tissus. Elle est augmentée par l'amélioration de la perméabilité membranaire et

l'augmentation du flux sanguin. Toutefois, il faut faire attention aux substrats utilisés car ils démontrent des variances dans leur capacité de transmission pouvant aller jusqu'à l'arrêt des ondes. Les gels aqueux anti-inflammatoires non stéroïdiens sont de bons coupleurs contrairement à l'hydrocortisone. Mais des recherches scientifiques sont encore nécessaires pour clarifier les réglages les plus efficaces **(14) (15) (43) (57) (58)**.

La réabsorption des **oedèmes** est induite par une perméabilité accrue des vaisseaux veineux et lymphatiques **(25)**.

Des recherches ont démontré l'influence de l'intensité sur les effets physiologiques se rapportant aux nerfs **(9)**.

Une intensité de 0,5 W/cm² augmente la vitesse de conduction motrice.

Une intensité de 1 à 2 W/cm² diminue la conduction des fibres C (ce sont les fibres de l'influx nociceptif).

Une intensité de 3 W/cm² augmente la vitesse de conduction nerveuse.

De plus, les U. S. agissent sur le système autonome induisant un effet sympatholytique (qui paralyse le système nerveux sympathique). **(9)**

Le sodium favoriserait l'effet antalgique et le calcium celui de la cicatrisation. La cavitation avantagerait l'apparition de radicaux libres, important dans les phénomènes inflammatoires **(56)**.

3.2. Contre - indications et indications

3.2.1. Contre - indications (9) (18) (22) (25) (57)

Il faut éviter d'appliquer les effets thermiques sur les zones où la production de chaleur serait néfaste. Les effets mécaniques sont également contre-indiqués dans certains cas,

puisque'ils peuvent induire des lésions tissulaires de parties fragiles (athéromes) par l'intermédiaire de la cavitation instable. Les régions à éviter sont les suivantes :

- Sur un utérus gravide puisque une température plus importante du fœtus risque d'entraîner des complications futures (les malformations apparaissent à une température de 39°).

- Lors de cancers. La chaleur produite favorise la multiplication des cellules cancéreuses, l'augmentation de la taille de la tumeur et la dissémination des métastases par l'accroissement des flux sanguins (à des températures modérées de 41° - 41,5°).

- Le cartilage de croissance. La déminéralisation et l'ossification peuvent aboutir à un arrêt de la croissance induisant à plus long terme une asymétrie osseuse.

- Les gonades. Une température plus élevée constante provoque une stérilité.

- Les zones mal vascularisées par risque de brûlure.

- Des régions avec hypoesthésies profondes, troubles de la sensibilité thermo-algésique.

- Les infections, lésions fraîches et inflammations aiguës par risque de majoration et de propagation du foyer infectieux.

- Les sites et affections à tendance hémorragique.

- Lors de greffes récentes et fractures non consolidées. Les U. S. risquent d'entraver ou d'endommager la réparation tissulaire.

- Les yeux par le risque de destruction de la rétine (moyens restreints, du fait de l'absence de vaisseaux sanguins, pour dissiper la chaleur) et la possibilité de provoquer une cataracte.

- Le système nerveux central. Une sonorisation peut endommager le tissu nerveux par la cavitation instable, surtout lors de pathologie où la moelle épinière est exposée, comme la spina bifida.

- Le thorax si présence d'implants électroniques (ex : pace maker), et pour éviter de sonoriser en direction du cœur (risque de troubles du rythme), des sinus carotidiens et aortiques.

- Egalement dans les cas de rachialgies. L'application des U. S. sur le rachis n'est pas formellement contre-indiquée mais déconseillée. La chaleur produite peut conduire à un échauffement du contenu du canal rachidien et à une lésion de la moelle épinière.

- Les pièces incluses scellées. Une étude montre que l'élévation thermique pour une fréquence de 1 ou 3 MHz à 1w/cm^2 est nulle dans l'acier, modérée dans le polyéthylène, importante dans le ciment de scellement si celui-ci n'est pas au contact d'un matériau à forte diffusivité thermique. L'application ne doit pas être faite sur une zone où le métal serait directement sous la peau (la peau pourrait être brûlée par le phénomène de réflexion du métal) **(18) (46) (57)**.

Du fait des risques encourus et de l'absence d'expérimentation, nous pouvons penser que l'application ultrasonore sur la tête et le thorax constitue une contre indication relative **(18) (60)**.

3.2.2. Indications (ANNEXE VI)

Il existe de nombreuses prescriptions qui renvoient à l'utilisation des U. S. dont les justifications scientifiques sont extrêmement variables du point de vue de leur fiabilité. Nous pensons qu'il est intéressant d'évoquer uniquement les indications appuyées par des études scientifiques randomisées et contrôlées. Il est important de préciser que les indications non

citées dans ce travail écrit ont une efficacité plus souvent connue de manière empirique **(32)** et peu appuyée par des études méthodologiquement acceptables **(6) (35) (65)**.

Les effets sclérotiques sur la fibrose des lésions anciennes, chroniques, dégénératives, cicatricielles lors de pathologies rhumatismales, post traumatiques, sportives ou post chirurgicales sont unes des principales indications **(18) (22)**.

Ces actions se situent essentiellement sur les structures péri - articulaires, articulaires et musculaires **(18)**. Voici les protocoles proposés pour les modalités d'application des U. S. :

- Séquelles fibreuses des entorses superficielles et des lésions musculaires **(18)**. 1 ou 3MHz ; 5 à 8 min ; 1 à 2,5W/cm².

- Tendinopathies : épicondylite **(5) (10)**, tendinite calcifiante de l'épaule **(27) (35) (36) (51) (36)**. 5 à 15 min ; 1 à 2,5 W/cm² ; pulsé (20% à 50%) ou continu ; 24 séances.

- Raideurs articulaires **(18) (26)**. 1 ou 3MHz ; 5 à 8 min ; 1 W/cm² (associé à une mobilisation active douce).

- Cicatrice, adhérence, chéloïde **(18)**. 1 ou 3MHz ; 5 à 8 min ; 1 à 2,5 W/cm².

- Syndrome du canal carpien **(7) (28) (47) (50)**. 1MHz ; 1 W/cm² ; 15 min ; pulsé (20%) ; 15 séances.

- Fractures **(13) (33) (49) (62)**. (Utilisation depuis peu, de LIPUS : Low Intensity Pulsed UltraSound). Programme exogène 0.03 W/cm² pendant 20 min. Accélération de la guérison et diminution des risques de non union.

- Cancer (utilisation depuis peu, de l'HIFUS : Hight Intensity Focalised U. S., notamment pour la prostate).

- Régénération nerveuse (utilisation d'ultrason à faible intensité. Les études sont pauvre et n'en sont qu'au stade expérimentale).

3.2.3. Autres

Plusieurs revues scientifiques ont publié les résultats de recherches bibliographiques parmi les nombreux articles traitant des U. S. thérapeutiques. Seules les études paraissant fiables méthodologiquement (population, protocole, stade de la pathologie) ont été retenues.

En conclusion, l'utilisation des U. S. n'a pas été jugée efficace ou inefficace par le faible niveau de preuves (Grade C selon l'H. A. S.) dans le cas (**ANNEXE VII**) :

- Des troubles musculosquelettiques, douleurs et réparation tissulaires en générale **(5) (32) (65)**.
- Des douleurs non spécifiques, et améliorations fonctionnelles de l'épaule. (capsulite, tendinite, bursite) **(3) (29) (37) (51) (64) (65)**.
- Des lombalgies communes **(39) (55)**.
- Des cervicalgies **(36) (53)**.
- Des douleurs dues au syndrome fémoro - patellaire **(11) (54)**.
- Des entorses externes de la cheville (à la première phase de l'entorse) **(38) (66)**.
- Des lésions tissulaires, ligamentaires, tendineuse, capsulaires en phase inflammatoire (concernant la douleur et l'inflammation) **(56) (65) (66)**.
- Des lésions musculaires fraîches D. O. M. S. (Delayed Onset Muscle Soreness) **(17) (61)**.
- De l'arthrite **(12) (69)**.
- De l'arthrite Rhumatoïde **(48)**.
- Des ulcères de pression et variqueux aux niveau des jambes. L'efficacité est plus importante avec les U. S. de faible intensité **(30) (63)**.

4. APPLICATION PRATIQUE

4.1. Les différentes étapes (25) (57)

Pour avoir une efficacité maximale il est important de respecter un certain nombre de règles pratiques (29) :

Evaluer les antécédents du patient qui pourraient être des contre-indications aux U. S. (anamnèse, interrogatoire, dossier médical). Savoir dans quelle phase se situe la pathologie et effectuer une inspection / palpation au préalable.

Déterminer l'objectif thérapeutique (antalgique, fibrinolytique...) pour régler la machine de manière à ce qu'elle soit la plus adaptée à la pathologie traitée.

Installer le patient pour assurer son confort, permettre une accessibilité et une bonne visibilité de la zone soignée. Ne pas hésiter à lui expliquer le but de la manœuvre et les effets ressentis.

Programmer la machine en fonction de l'objectif thérapeutique (durée, puissance, mode, fréquence...). C'est la notion de dosage.

Procéder à l'application des U. S. :

Il y a plusieurs formes d'application en fonction du but recherché (**ANNEXE VIII**) :

- Massage ultrasonore : la sonation se fait par un déplacement lent (4 à 5cm/sec), longitudinal ou circulaire (fig. 8) en faisant attention que la tête recouvre 50% de la surface précédente (spirales ou cercles qui se chevauchent). Il faut effectuer un appui suffisant, perpendiculaire et complet de la tête sur la peau. La moindre couche d'air arrête les U. S. , il faut donc appliquer une interface conductrice entre le transducteur et la peau (gel aquasonique).

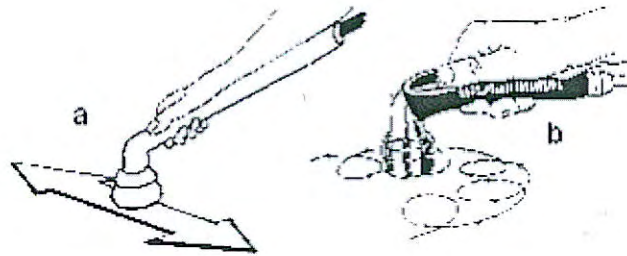


Figure 8 : massage ultrasonore

a : application parallèle b : application circulaire

- Traitement en point fixe : l'émetteur restera immobile, toujours au moyen d'une substance de couplage, sur le point douloureux à traiter pendant toute la séance qui n'excèdera pas 1 à 2 minutes. Les intensités doivent être augmentées jusqu'à recréer la douleur initiale. Attention, il ne faut pas confondre avec une douleur due à l'accumulation d'énergie par les ondes stationnaires. Dans ce cas la douleur se rapproche d'une sensation de torsion ou d'un pincement.

- Traitement subaquatique : la partie du corps à traiter est immergée dans un bac rempli d'eau (si possible de l'eau bouillie pour éliminer les gaz dissous). La sonde n'est pas en contact avec la région soignée, déplacée lentement, à environ 1cm de celle-ci. L'immersion permet l'adaptation de la tête aux reliefs osseux, mais cela nécessite des correctifs d'intensité. En effet la déperdition d'énergie peut aller jusqu'à 50 %. Il faut penser à enlever régulièrement les bulles accumulées sur la peau et sur la tête.

Pour améliorer l'adaptation de la tête aux reliefs, plusieurs additifs particuliers existent (9) :

- Des cônes métalliques placés entre le transducteur et la peau, réduisant la surface d'émission, permettant de traiter des régions très localisées.

- Des vessies (préservatifs) remplies d'eau dé-gazéifiée par ébullition, fixées sur la tête du traducteur, permettant le traitement de zones infructueuses (fig. 9).

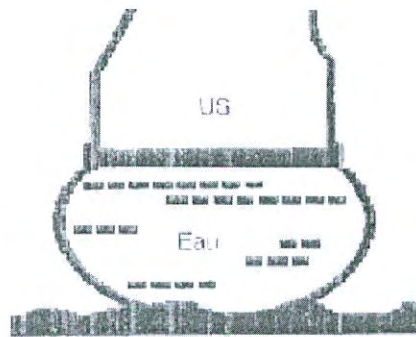


Figure 9 : vessie appliquée sur la tête du transducteur

- Remarques :

Il a été démontré que l'eau et le gel étaient les meilleurs agents coupleurs dans la transmission sonore. Une étude met en garde sur la variance de transmission d'un produit à un autre (8) (16) (41).

Il est nécessaire de **surveiller** le déroulement de la séance. La puissance utilisée ne doit jamais provoquer de douleur (sauf dans le cas d'application fixe) ou de brûlure. Si c'est le cas, vérifier la vitesse de déplacement (trop rapide pas d'effet thérapeutique et trop lent, risques de douleurs ou de brûlures par les ondes stationnaires), l'intensité ou la présence de reliefs osseux (réflexion). Nous devons tenir compte de la tolérance du patient aux U. S. Il est important de toujours maintenir le transducteur perpendiculaire à la zone traitée pour éviter les phénomènes de réfraction.

4.2. Notion de dosage (25) (29) (55) (57)

C'est un des facteurs jouant le plus sur la remise en question de l'efficacité des U. S. Il n'existe pas de protocole précis et les avis divergent pour une même indication. Cette notion reste encore floue à l'heure actuelle. Certains pensent que le dosage n'est pas un paramètre important dans la réponse au traitement (1). Cela est lié au manque de recherches contrôlées et randomisées, ainsi qu'à l'existence de nombreuses applications empiriques.

Le but est d'amener le point énergétique en un lieu précis pour obtenir l'effet désiré sans être nocif. Plusieurs auteurs s'accordent à dire, que pour avoir une efficacité maximale le dosage devrait s'établir à partir de plusieurs critères fondamentaux.

L'arrangement de la machine doit être le plus adapté au problème du patient grâce à une bonne connaissance des caractéristiques de l'onde, des effets thermiques et athermiques, du matériel, des indications et contre - indications, des modalités d'application. De plus la connaissance des structures à traiter, du point de vue anatomique (nature du tissu cible : os, tendon, muscle...), et pathologique (phases d'évolution : aiguë, subaiguë...) est indispensable. Attention, chaque patient est unique.

- Proposition théorique de calcul du dosage :

Le choix de la **fréquence** tient compte de la profondeur du tissu visé.

Le **rapport d'impulsion** le plus approprié dépend essentiellement de l'état des tissus. Nous calculerons le coefficient d'opération, c'est à dire le laps de temps pendant lequel la machine est active en fonction du mode d'impulsion (tab. I). En phase aiguë, le rapport diminue car le tissu est sensible à l'énergie. En phase chronique, le rapport augmente.

À titre d'exemple une irradiation pulsée de 10 minutes avec un rapport de 1:5 correspond à 2 minutes d'irradiation continue.

L'intensité exigée peut être déterminée à partir de la lésion, faible en phase aiguë et plus élevée en phase chronique (tab. III).

Tableau III : rapport entre l'intensité et l'état du tissu (67)

État du tissu	L'intensité exigée (W/cm ²)
Aiguë	0,1 - 0,5
Subaiguë	0,5 - 1,5
Chronique	1,5 - 3

La **durée** est réglée en fonction de la pathologie et de la phase. Il existe de nombreuses variantes pas toujours justifiées. Certains donnent une fourchette entre 10 et 15 minutes en mode balayage et 1 à 2 minutes en mode fixe. Le ressenti du patient étant le moyen de régulation (57). D'autres partent du principe suivant : la taille du secteur de traitement influencera le temps (à une fréquence et à une intensité appropriées). Plus le secteur est grand, plus le temps de traitement est important. Il faut estimer le nombre de fois que la tête d'ultrasons peut être placée au-dessus du tissu cible pour le recouvrir (influence de l'E. R. A.), et compter 1 minute par tête placée. Tout cela multiplié au rapport d'impulsion (67).

- **Exemple 1** : Traitement d'ultrasons pour une lésion aiguë du ligament collatéral médial du genou.

La lésion est superficielle, par conséquent une fréquence de 3MHz serait la plus appropriée. La lésion est aiguë, ainsi une intensité de 0,2 W/cm² devrait être suffisante pour traiter la lésion. Il n'est pas nécessaire d'augmenter la dose extérieure pour tenir compte de la perte d'ultrasons en profondeur. La lésion est aiguë, donc un rapport d'impulsion de 1:4 sera le plus adapté. Utilisant la grande tête de traitement, nous estimons que le tissu cible est approximativement de la même taille que la tête de traitement.

Travaillant sur le principe décrit précédemment, le temps pris pour traiter la lésion sera : **(1 minute) x (nombre de fois où la tête s'adapte au-dessus de la lésion) x (le rapport d'impulsion en additionnant le cycle du temps de repos et du temps de travail)** qui dans ce cas = **(1) x (1) x (5) = 5 minutes.**

La dose finale de traitement sera donc : **3MHz ; 0.2 W/cm² ; 1:4 pulsé ; 5 minutes.**

Des manuels présentent des calculs en fonction de la profondeur, de la nature de la lésion et de l'E. R. A. (tab. IV) (25) :

Tableau IV : rapport entre le temps, la puissance et l'état tissulaire (25)

Caractéristiques de la lésion	Puissance (W/cm ²)	Temps d'application (sec)
Superficielle - aiguë	0,5	60
Superficielle - chronique	0,8 à 1	70
Profonde - aiguë	1 à 1,2	80
Profonde - chronique	1,5	90

- **Exemple 2** : pour traiter une lésion profonde et chronique d'une surface de 25 cm², avec une tête d'U. S. de 5 cm² il faudra un temps de traitement correspondant au calcul suivant : [(surface à traiter / E. R. A.) x temps d'application] : 60. Donc, [(25 / 5) x 90] : 60 = 7.30 min de traitement.

4.3. Entretien du matériel (ANNEXE IX)

Il est recommandé que les appareils à ultrasons thérapeutiques soient vérifiés de manière annuelle ou bi - annuelle. Une détérioration dans le temps est possible, provoquant une divergence entre les paramètres prééglés et les doses appliquées. Le praticien doit être précautionneux lors du rangement de la tête qui peut facilement se détériorer et induire une mauvaise calibration (4) (16) (20) (44) (62).

Il peut également exister des écarts d'une machine neuve à une autre lors de la première utilisation (34). Il est conseillé de nettoyer et désinfecter la tête et le fil entre chaque patient.

5. DISCUSSION (1) (6) (32) (35) (56) (65)

Il a fallu faire une sélection importante parmi la production abondante d'articles. Très peu d'entre eux sont suffisamment fiables pour appuyer les différents arguments proposés (petite population, pas de précision sur la calibration ou sur le stade de la pathologie...). Malgré les divergences souvent rencontrées, plusieurs points convergents apparaissent. Même si nous comprenons mieux les effets des U. S. aujourd'hui, il manque encore des études sur l'homme méthodologiquement et statistiquement acceptables pour porter un jugement sur leur efficacité clinique (niveau de preuves insuffisant). Les avis sont assez contradictoires.

De plus, lorsque les paramètres de dosage sont précisés, ceux-ci varient considérablement d'une étude à une autre sans raison apparente. Il n'existe pas de véritables protocoles.

Quelques auteurs pensent que les U. S. n'auraient actuellement pas d'arguments biophysiques pour justifier leur utilisation seule ou associée à d'autres éléments thérapeutiques. Si les effets paraissent parfois positifs, ils ne le sont que très légèrement et souvent additionnés à d'autres thérapeutiques, sans que nous puissions mesurer le rôle spécifique joué par cet agent physique. La plupart des études ont été faites in vitro ou in vivo sur des animaux, démontrant des effets à des intensités supérieures aux doses utilisées en thérapeutique clinique. Initialement les connaissances sur la relation dosage - résultat proviennent de ces expériences et sont appliquées directement à l'homme. Cela provoque de nombreuses confusions, notamment sur les risques de lésions cellulaires causées par ces intensités élevées. Ce qui est légèrement efficace in vitro l'est encore moins in vivo, ces deux milieux réagissent différemment.

6. CONCLUSION

Depuis longtemps les U. S. sont utilisés comme moyen thérapeutique. Leurs effets thermiques et mécaniques sont la conséquence d'un ensemble de caractéristiques qui leur sont propres. C'est la bonne connaissance de ces particularités qui amène une pratique clinique adaptée du thérapeute.

Au terme de cette consultation bibliographique, nous avons mis en avant les nombreuses contradictions qui subsistent encore aujourd'hui. Le manque de preuves scientifiques ne permet pas de valider la plupart des techniques ultrasonores. Comme le précise F. Crépon, c'est « *la grande difficulté à mettre en place une étude clinique randomisée présentant tous les critères qui peuvent lui conférer la crédibilité d'un essai contrôlé* » (18). Cependant, cela n'interdit pas leur utilisation, les professionnels s'accordent sur la reconnaissance de leurs propriétés sclérolytiques.

Nous estimons qu'il ne faut pas conclure à un abandon de la sonothérapie. Nous espérons que de nouvelles études plus poussées permettront de clarifier les sujets contradictoires et de définir des protocoles de dosages précis.

Des recherches démontrent une nouvelle orientation pour les U. S. avec l'amélioration de la guérison des tissus lorsque les paramétrages sont à faible intensité ($< 1\text{w/cm}^2$) et à basse fréquence (30 à 45 KHz). Notamment dans le cas des fractures et des lésions cutanées, bien que ces pathologies soient citées dans les contre – indications.

Il existe peu de publications françaises. Pourtant l'utilisation des U. S. en France est assez courante, aussi bien dans les cabinets libéraux que dans les centres de rééducation. Qu'en est elle aujourd'hui ? Evolue t-elle ? Si oui, à partir de quels critères : matériel, connaissances scientifiques...?

GLOSSAIRE

- **U. S.** : Ultrason
- **E. R. A.** : Effective Radiating Area
- **B. N. R.** : Beam Non Uniformity Ratio
- **L. P. U. S.** : Low Pulsed Ultra-Sound
- **H. I. F. U. S.** : High Intensity Focalised Ultra-Sound
- **H. A. S.** : Haute Autorité de Santé
- **D. O. M. S.** : Delayed Onset Muscle Soreness

BIBLIOGRAPHIE

1. **ACTUKINE**. Revue de presse - Kinésithérapie, les annales, 2002,2 – 3, p. 4 – 12.
2. **A. D. A. G. P.** - Le ROBERT illustré d'aujourd'hui. – Paris : édition du Club de France Loisir, 2000. – 1584p.
3. **AINSWORTH R. , DZIEDZIC K. , HILLER L. , DANIELS J. , BRUTON A. , BROADFIELD J.** - A prospective double blind placebo-controlled randomized trial of ultrasound in the physiotherapy treatment of shoulder pain. - Rheumatology, 2007, doi:10.1093/rheumatology/kel423.
4. **ARTHO P. A. , THYNE J. G. , WARRING B. P. , WILLIS C. D. , BRISMEE J. M. , LATMAN N. S.** – A calibration study of therapeutic ultrasound units. – Phys Ther, 2002, 82, 3, p. 257 – 263.
5. **BAKER K. G. , ROBERTSON V. J.** - A Review of Therapeutic Ultrasound : effectiveness studies. - Physical Therapy 2001, 81, 7, p. 1339 - 1350.
6. **BAKER K. G. , ROBERTSON V. J. , DUCK F. A.** - A Review of Therapeutic Ultrasound : Biophysical Effects. - Physical Therapy 2001, 81, 7, p. 1351-1358.
7. **BAKHTIARY A. H. , RASHICKY – POUR A.** – Ultrasound and laser therapy in the treatment of carpal tunnel syndrom. – 2004, 50, 3, p. 147 – 151.
8. **BALMASEDA M. T. , FATEHI M. T. , KOOZEKANANI S. H. , LEE A. L.** - Ultrasound therapy : a comparative study of different coupling media. - Arch Phys Med Rehabil, 1986, 6, 3, p. 147 - 150.
9. **BISSCHOP G. DE. , BISSCHOP E. DE. , COMMANDRE F.** - Electrophysiothérapie. – 5^{ème} éd. - Paris : Masson, 1999. – 166 p.
10. **BISSET L. , PAMGMALI A. , VENCENZINO B. , BELLER E.** – A systematic review and meta – analysis of clinical trials on physical interventions for lateral epicondylagia. - Br J Sport Med, 2005, 39, p. 411 – 422.
11. **BROSSEAU L. , CASIMIRO L. , ROBINSON V. , MILNE S. , SHEA B. , JUDD M. , WELLS G. , TUGWELL P.** - Therapeutic ultrasound for treating patellofemoral pain syndrome. - Cochrane Database Syst Rev, 2001, 4, CD003375.

12. **BROSSEAU L. , CASIMIRO L. , ROBINSON V. , MILNE S. , SHEA B. , JUDD M. , WELLS G. , TUGWELL P.** - Therapeutic ultrasound for osteoarthritis of the knee. - Cochrane Database of Systematic Reviews, 2001, Issue 3.
13. **BUSSE J. W. , BANDHARI M. ,KULKARNI A. V. , TUNKS E.** - The effect of low-intensity pulsed ultrasound therapy on time to fracture healing : a meta-analysis. – CMAJ, 2002, 19;166, 4, p. 437 - 441.
14. **BYL N. N.** – The use of ultrasound as an enhancer for transcutaneous drug delivery : phonophoresis. Phys Ther, 1995, 75, 6, p. 539 – 553.
15. **CAGNIE B. , VINCK E. , RIMBAUT S. , VANDERSTRAETEN G.** – Phonophoresis versus topical application of ketoprofen : comparison between tissue and plasma levels. – Phys Ther, 83, 8, 2003, p. 707 – 712.
16. **CASAROTTO R. A. , ADAMOWSKI J. C. , FALLOPA F. , BACANELLI F.** – Coupling agent in therapeutic ultrasound : acoustic and thermal behaviour. – Arch Phys Med Rehabil, 2004, 85, 1, p. 162 – 165
17. **CRAIG J. A. , BRADLEY J. , WALSH D. , BAXTER D. , ALLEN J. M.** - Delayed onset muscle soreness: lack of effect of therapeutic ultrasound in humans. - Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 1999, 80, p.318 – 323.
18. **CREPON F.** Electrophysiothérapie et rééducation fonctionnelle. - 3^{ème} éd. - Paris : Frison-Roche, 2002 – 170 p.
19. **DALECKI D.** – Mechanicals bioeffects of ultrasound. – Annual Review of Biomechanical Engineering, 2004, 6, p. 229 – 248.
20. **DANIEL R. M. , RUPERT R. L.** – Calibration and electrical safety status of therapeutic ultrasound used by chiropratic physicians. – J Manipulative Physiol Ther, 2003, 26, 3, p. 171 – 175.
21. **DARLAS Y. , CLOUARD R. , SOLASSOL A.** - Interactions ultrasonores à médiation non thermique : micro-mouvements particuliers et cavitations. Perspectives thérapeutiques. – Act. Réed. Fonct. Réadapt, 17^{ème} série. Paris : Masson, 1992 (73-84).
22. **DARLAS Y. , CLOUARD R. , SOLASSOL A.** - Effets thermiques des irradiations ultrasonores et radar sur les structures articulaires : conséquences thérapeutiques et iatrogénicité. - Act. Réed. Fonct. Réadapt, 17^{ème} série. Paris : Masson, 1992 (57-72).

- 23. DARLAS Y. , NORMAND H. , SOLASSOL A. -** Echauffement musculaire in vivo chez l'être humain sous irradiations ultrasonore et électromagnétique. - Act. Réed. Fonct. Réadapt, 16^{ème} série. Paris : Masson, 1991 (37-46).
- 24. DARLAS Y. , NORMAND H. , SOLASSOL A. -** Le champ thermique ultrasonore en physiothérapie : étude thermographique sur pièces anatomiques humaines. - Act. Réed. Fonct. Réadapt, 14^{ème} série. Paris : Masson, 1989 (pp 14-24).
- 25. DE BUSSIERES P. , BRUAL J. -** Agents physiques en réadaptation : théorie et pratique. 2^{ème} éd. Bruxelles : DeBoeck Université, 2001. - 320 p.
- 26. DRAPER D. O. -** A Winning Combination. - J Ath Train, 2000, 35, 1, p. 50 - 55.
- 27. EBENBISHLER G. R. , ERDOGMUS C. B. , RESCH K. L. , FUNOVICS M. A. , KAINBERGER F. , BARISANI G. , ARINGER M. , NICOLAKIS P. , WIESINGER G. F. , BAGHESTANIAN M. , PREISINGER E. , FIALKA M. V. , WEINSTABL R. -** Ultrasound therapy for calcific tendinitis of the shoulder. - New England Journal of Medicine, 1999, 340, p. 1533 - 1538.
- 28. EBENBISHLER G. R. , RESH K. , NICOTAKIS P. , WIESINGER G. F. , UHL F. , GHANEM A. , H. , FIALKA V. -** Ultrasound treatment for treating the carpal tunnel syndrom : randomized " sham " controlled trial. - BMJ, 1998, 16, p. 731 - 747.
- 29. FAVAL P. M. -** Pratiques kinésithérapiques : physiothérapie et douleur - Kinésithérapie, les annales, 2002, 4, p. 398 - 402.
- 30. FRANECK A. , CHMIELLEWSKA D. , BRZEZINSKA - WCISLO L. , SLEZAK A. , BLASZCZAK E. -** Application of various power densities of ultrasound in the treatment of leg ulcers. - Journal of Dermatological Treatment, 2004, 15, 6, p. 379 - 386.
- 31. GALLO J. A. , DRAPER D. O. , BRODY L. T. , FELLINGHAM G. W. -** A comparison of human muscle temperature increases during 3-MHz continuous and pulsed ultrasound with equivalent temporal average intensities. - Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy, 2004, 34, 7,p. 395 - 401.
- 32. GAM A. N. , JOHANNSEN F. -** Ultrasound therapy in musculoskeletal disorders : a meta-analysis. - Pain, 1995, 63, p. 85 - 91.
- 33. GEBAUER D. , CORREL J. -** Pulsed low-intensity ultrasound: a new salvage procedure for delayed unions and nonunions after leg lengthening in children. - J Pediatr Orthop, 2005, 25, 6, p.750 - 754.

- 34. GUIRRO R. , BRITSHCY DOS SANTOS S. C. -** Evaluation of the acoustic intensity of new ultrasound therapy equipment. – Ultrasonic, 2002, 39, 8, p. 553 – 557.
- 35. GURSEL Y. K. , ULUS Y. , BILGIC A. , DINCER G. , VAN DER HEIJDEN G. J. M. G. -** Adding ultrasound in the management of soft tissue disorders of the shoulder : a randomized placebo - controlled trial. - Physical Therapy, 2004, 84, 4 , p. 336 – 343.
- 36. H. A. S. –** Modalité de prise en charge d'une épaule douloureuse chronique non instable chez l'adulte. – Tendinopathie calcifiante. - Service des recommandations et références professionnelles, 2005.
- 37. H. A. S. –** Pathologie non opérée, coiffe des rotateurs et Masso – kinésithérapie. – Service des recommandations et références professionnelles, 2001.
- 38. H. A. S. –** Rééducation de l'entorse externe de cheville. - Service des recommandations et références professionnelles, 2000.
- 39. H. A. S. –** Prise en charge Masso – kinésithérapique dans la lombalgie commune : modalité de traitement, 2005.
- 40. H. A. S. –** Masso-kinésithérapie dans les cervicalgies communes et dans le cadre du « cou du lapin » ou whiplash. – Recommandation pour la pratique clinique. – Service des recommandations professionnelles, 2003.
- 41. KLUCINEC B. , SCHEIDLER M. , DENEGAR C. , DOMHOLDT E. , BURGESS S. -** Effectiveness of Wound Care Products in the Transmission of Acoustic Energy. – Phys Ther, 2000, 80, 5, p. 469 – 476.
- 42. LENNART D. J. -** Nonthermal Effects of Therapeutic Ultrasound : The Frequency Resonance Hypothesis J Athl Train, 2002, 37, 3, p. 293 – 299.
- 43. MITRAGOTRI S. , KOST J. –** Low - frequency sonophoresis. A review. – Advanced Drug Delivery Review, 2004, 56 , p. 589 – 601.
- 44. MERRICK M. A. , BERNARD K. D. , DEVOR S. T. , WILLIAMS J. M. -** Identical 3-MHz ultrasound treatments with different devices produce different intramuscular temperatures. - Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy, 2003, 33, 7, p. 379 – 385.
- 45. NORMAND H. , DARLAS Y. , SOLASSOL A. -** Le champ thermique électromagnétique (ondes radar) en physiothérapie : étude thermographique sur pièces anatomiques humaines. - Act. Réed. Fonct. Réadapt, 14^{ème} série. Paris : Masson, 1989, p. 25 - 32.
- 46. NORMAND H. , DARLAS Y. , SOLASSOL A. -** Etude expérimentale de l'effet thermique des ultrasons sur le matériel prothétique. – Ann. Réadapt. Med. Phys, 1989, 32, 2, p. 193 – 201.

- 47. O'CONNOR D. , MARSHALL S. , MASSY -WESTROPP N.** - Non-surgical treatment (other than steroid injection) for carpal tunnel syndrome. Cochrane Database of Systematic Reviews 2003, Issue 1. Art. No.: CD003219. DOI : 10.1002/14651858.CD003219.
- 48. OTTAWA PANEL MEMBERS OTTAWA METHODS MEMBERS** - Ottawa Panel Evidence-Based Clinical Practice Guidelines for Electrotherapy and Thermotherapy Interventions in the Management of Rheumatoid Arthritis in Adults. - Phys Ther, 2004 , 84, 11, p. 1016 – 1043.
- 49. PARVIZI J. ,VEGARI D.** - Pulsed low-intensity ultrasound for fracture healing. - Foot Ankle Clin, 2005, 10, 4, p. 595 – 608.
- 50. PIRAVEJ K. , BOONHONQ J.** – Effect of ultrasound thermotherapy in mild to moderate carpal tunnel syndrom. - J Med Assoc Thai, 2004, 87, 2, p. 100 – 106.
- 51. PHILADELPHIA PANEL MEMBERS, CLINICAL SPECIALITY EXPERTS.** - Philadelphia Panel Evidence-Based Clinical Practice Guidelines on Selected Rehabilitation Interventions for Shoulder Pain. - Phys Ther, 2001, 81, 10, p. 1719 – 1730.
- 52. PHILADELPHIA PANEL MEMBERS, CLINICAL SPECIALITY EXPERTS.** - Philadelphia Panel Evidence-Based Clinical Practice Guidelines on Selected Rehabilitation Interventions for Low Back Pain. - Phys Ther, 2001, 81, 10, p. 1641 - 1674.
- 53. PHILADELPHIA PANEL MEMBERS, CLINICAL SPECIALITY EXPERTS.** - Philadelphia Panel Evidence-Based Clinical Practice Guidelines on Selected Rehabilitation Interventions for Neck Pain. - Phys Ther, 2001, 81, 10, p. 1701 - 1717.
- 54. PHILADELPHIA PANEL MEMBERS, CLINICAL SPECIALITY EXPERTS.** - Philadelphia Panel Evidence–Based Clinical Practice Guidelines on Selected Rehabilitation Interventions for Knee Pain. - Phys Ther, 2001, 81, 10, p. 1675 - 1700.
- 55. ROBERTSON V.** - Dosage and treatment response in randomized clinical trials of therapeutic ultrasound. - Physical Therapy in Sport 2003, 3, p. 124 – 133.
- 56. ROBERTSON V. J. , BAKER K. G.** - A review of therapeutic ultrasound : Effectiveness studies Physical Therapy, 2001, 81, 7, p. 1339 – 1350.
- 57. ROQUES C. F.** - Pratique de l'électrothérapie : électrothérapie pratique appliquée à la Médecine Physique et à la Masso – kinésithérapie. – éd. – Paris : Springer, 1997. - 210 p.
- 58. ROSIM G. C. , BARBIERI C. H. , LANCAS F. M. ,MAZZER N.** – Diclofenac phonophoresis in human volunteers. – Ultrasound Med Bio, 2005, 31, 3, p. 337 – 343.

- 59. SHOMATO K. et COLL.** – Effects of Ultrasound on calcified tendinitis of the shoulder.
– Journal of Japanese Physical Therapy Assoc, 2002, 5, 1, p. 7 – 11.
- 60. SOLASSOL A. , DARLAS Y. , NORMAND H.** - Champ thermique électromagnétique et ultrasonore en physiothérapie rachidienne. - Act. Réed. Fonct. Réadapt, 15^{ème} série. Paris : Masson, 1990, p. 425 - 433.
- 61. STAY J. C. , RICARD M. D. , DRAPER D. O. , SCHULTHIES S. S. , DURRANT E.**
- Pulsed ultrasound fails to diminish delayed-onset muscle soreness symptoms. - Journal of Athletic Training, 1998, 33, 4, p. 341 – 346.
- 62. THOMAS K. , KRISTIENSEN M. D. , RYABY J. P. , McCABE J. , PISCATAWAY R. N. , FREY J. J. , ROE L. R.** - Accelerated Healing of Distal Radial Fractures with the Use of Specific, Low-Intensity Ultrasound. A Multicenter, Prospective, Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study, The Journal of Bone and Joint Surgery, 1997, 79, p. 961 - 973.
- 63. UHLEMANN C. , HEINIG B. , WOLLINA U.** – Therapeutic ultrasound in lower extremity wound management. - The International Journal Of Extremity Wounds, 2003, 2, 3, p. 152 – 157.
- 64. VAN DER HEIJDEN G. J. M. G. , LEFFERS P. , WOLTERS P. J. M. C. , VERHEIJDEN J. J. D. , VAN MAMEREN H. , HOUBEN J. P. , BOUTER L. M. KNIP SCHILD P. G.** - No effect of bipolar interferential electrotherapy and pulsed ultrasound for soft tissue shoulder disorders : a randomised controlled trial. - Annals of the Rheumatic Diseases, 1999, 58, p. 530 - 540.
- 65. VAN DER WINDT D. A. W. M. , VAN DER HEIJDEN G. J. M. G. , VAN DEN BERG S. G. M. , TER RIET G. , DE WINTER A. F. , BOUTER L. M.** - Ultrasound therapy for musculoskeletal disorders : a systematic review Pain, 1999, 81, p. 257 – 271.
- 66. VAN DER WINDT D. A. W. M. , VAN DER HEIJDEN G. J. M. G. , VAN DEN BERG S. G. M. , TER RIET G. , DE WINTER A. F. , BOUTER L. M.** - Ultrasound therapy for acute ankle sprains Cochrane Database of Systematic Reviews 4, 2004.
- 67. WATSON T.** - Calculs de dose d'ultrasons. - Le contact, 2002, 101, p. 14 – 17.
- 68. WATSON T.** - Tissu mou curatif. - Le contact, 2003, 104, p. 2 – 9.
- 69. WELCH V. , BROSSEAU L. , PETERSON J. , SHEA B. , TUGWELL P. , WELLS G.** - Therapeutic ultrasound for osteoarthritis of the knee. - Cochrane Database Syst Rev, 2001, 3, CD003132.

ANNEXES

ANNEXES I : schémas illustrant la B. N. R. et l'E. R. A.

ANNEXES II : schéma du champ ultrasonore.

ANNEXES III : augmentation de la température intra musculaire pour des fréquences de 1 et 3 MHz.

ANNEXES IV : bulle de cavitation.

ANNEXES V : schématisation des micro-mouvements.

ANNEXES VI : tableaux cliniques proposant plusieurs indications.

ANNEXES VII : tableau représentant les niveaux de grades.

ANNEXES VIII : exemples d'applications ultrasonores.

ANNEXES IX : exemples de machines et traducteurs disponibles.

ANNEXE I

Schémas illustrant la B. N. R. et l'E. R. A. (d'après Bussière et Roques)

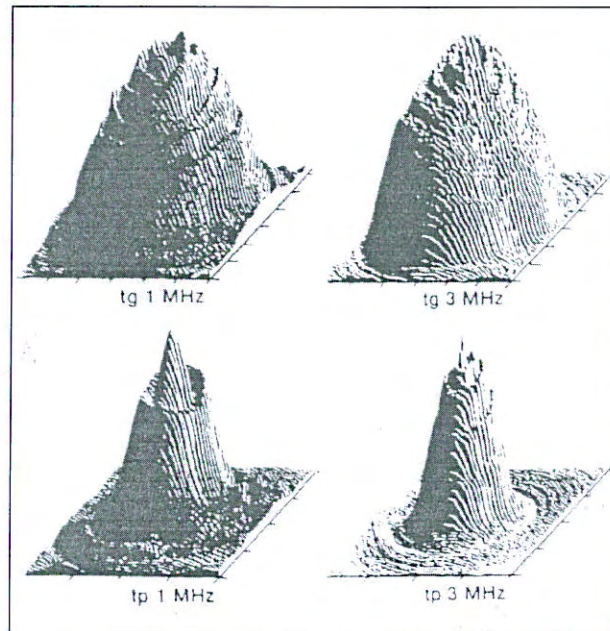


Figure 1 : Rapport entre la taille du faisceau et celle de la surface en contact avec la peau (E. R. A.).

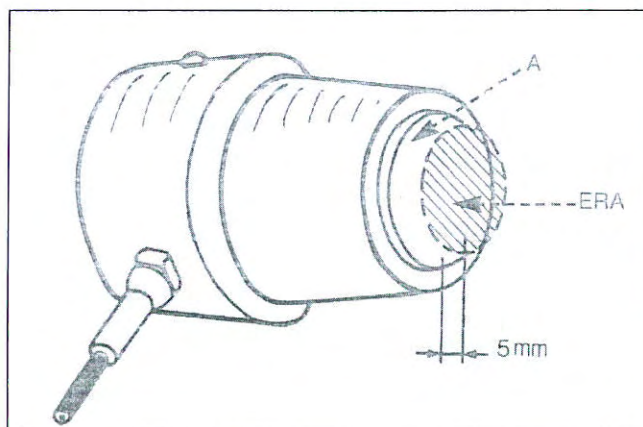


Figure 2 : Schéma de la surface d'action (E. R. A.).

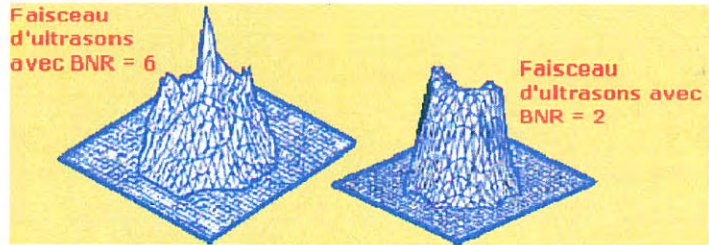


Figure 3 : Représentation de deux BNR différents pour une fréquence de 3 MHz.

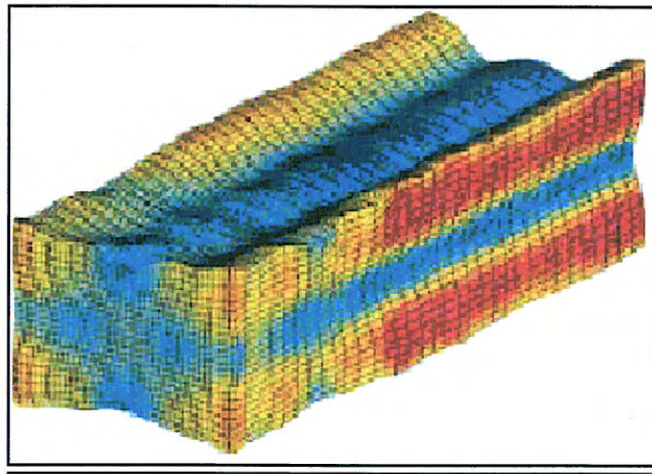
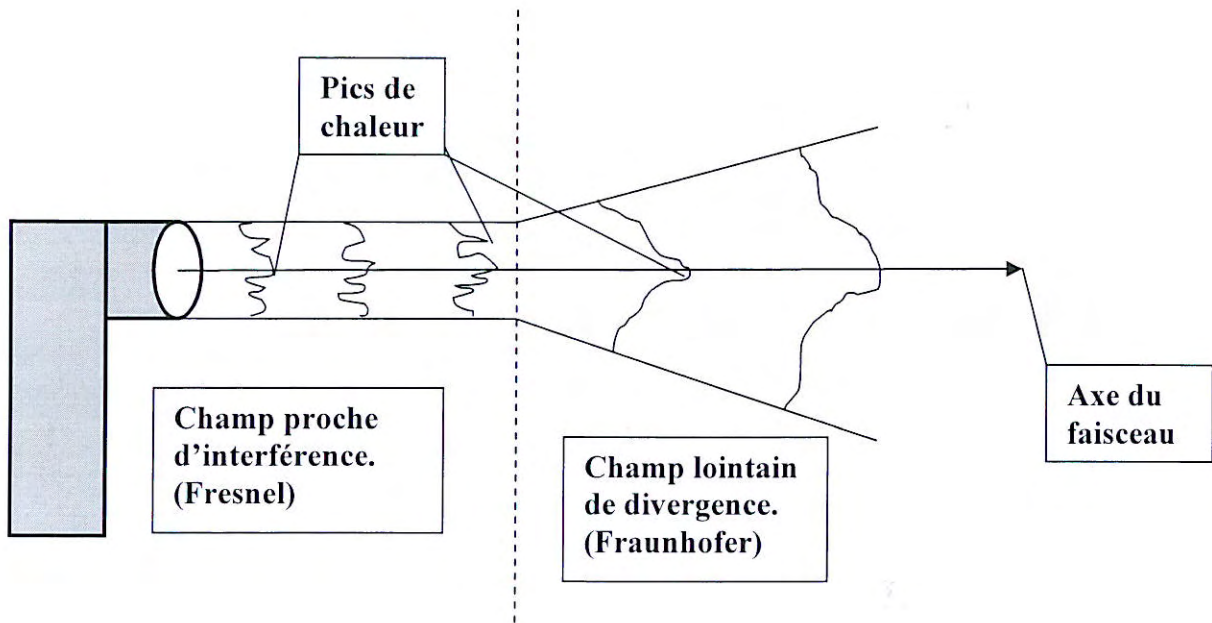


Figure 4 : Vibrations inégales d'un quartz piézo-électrique.

ANNEXE II

Schéma du champ ultrasonore (d'après Bussière et Roques).



La taille des champs varie en fonction de la fréquence. Lorsqu'elle diminue le champ proche diminue également et la longueur d'onde augmente. Le traitement est effectué avec le champ distal. L'onde pénètre plus en profondeur mais ne permet pas un échauffement tissulaire puisqu'elle ne se disperse plus.

Pour une fréquence de 1 à 3 MHz, le thérapeute agit avec le champ proximal.

Pour une fréquence de 45 KHz, le thérapeute agit avec le champ distal.

ANNEXE III

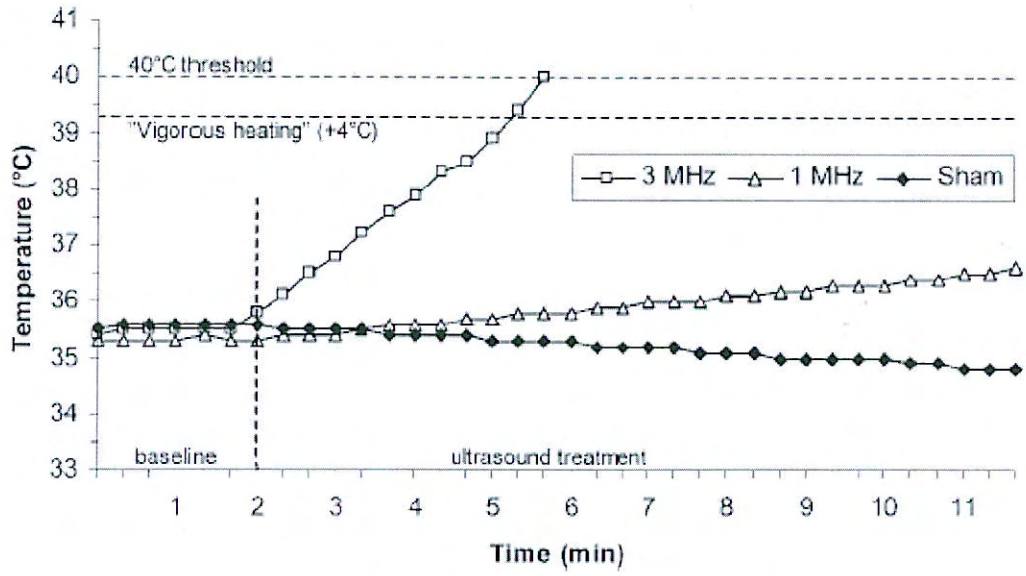
**Augmentation de la température intra-musculaire pour des fréquences de 1 et 3 MHz
durant 10 minutes. (D'après Draper)**

Tableau 1 : température intra-musculaire lors d'une sonorisation continue avec une fréquence de 1 MHz.

	1min	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'	10'
0,5 W/cm ²	0,04°C	0,08°C	0,12°C	0,16°C	0,20°C	0,24°C	0,28°C	0,32°C	0,36°C	0,40°C
1,0 W/cm ²	0,16°C	0,32°C	0,48°C	0,64°C	0,80°C	0,96°C	1,12°C	1,28°C	1,44°C	1,60°C
1,5 W/cm ²	0,33°C	0,66°C	0,99°C	1,32°C	1,65°C	1,98°C	2,31°C	2,64°C	2,97°C	3,30°C
2,0 W/cm ²	0,38°C	0,76°C	1,14°C	1,52°C	1,90°C	2,28°C	2,66°C	3,04°C	3,42°C	3,80°C

Tableau 2 : température intra-musculaire lors d'une sonorisation continue avec une fréquence de 3 MHz.

	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'	10'
0,5 W/cm ²	0,30°C	0,60°C	0,90°C	1,20°C	1,50°C	1,80°C	2,10°C	2,40°C	2,70°C	3,00°C
1,0 W/cm ²	0,58°C	1,16°C	1,74°C	2,32°C	2,90°C	3,48°C	4,06°C	4,64°C	5,22°C	5,80°C
1,5 W/cm ²	0,89°C	1,78°C	2,67°C	3,56°C	4,45°C	5,34°C	6,23°C	7,12°C	8,01°C	8,90°C
2,0 W/cm ²	1,40°C	2,80°C	4,20°C	5,60°C	7,00°C	8,40°C	9,80°C	11,2°C	12,6°C	14,0°C



Tissue temperature at 2.5 cm with 1.5-W/cm² ultrasound treatments.

(Tiré de la revue : J Athl Train, 2004, 39, 3, p. 230 – 234.)

ANNEXE IV

Bulle de cavitation.

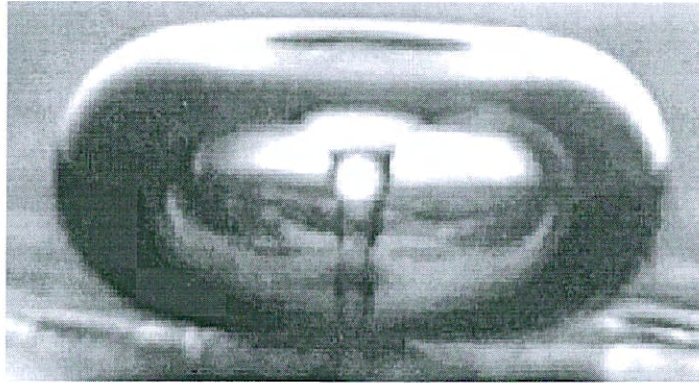
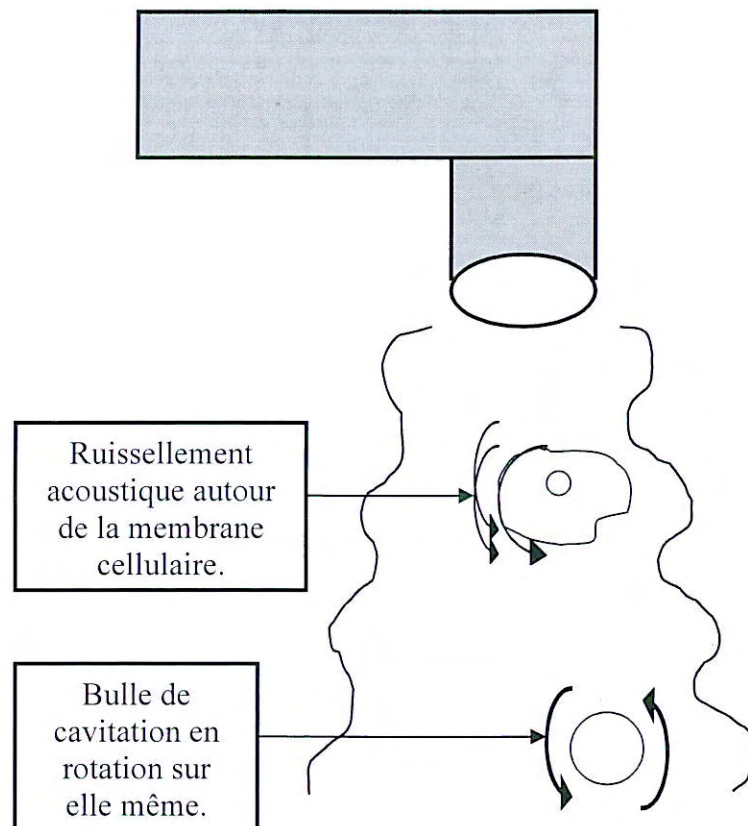
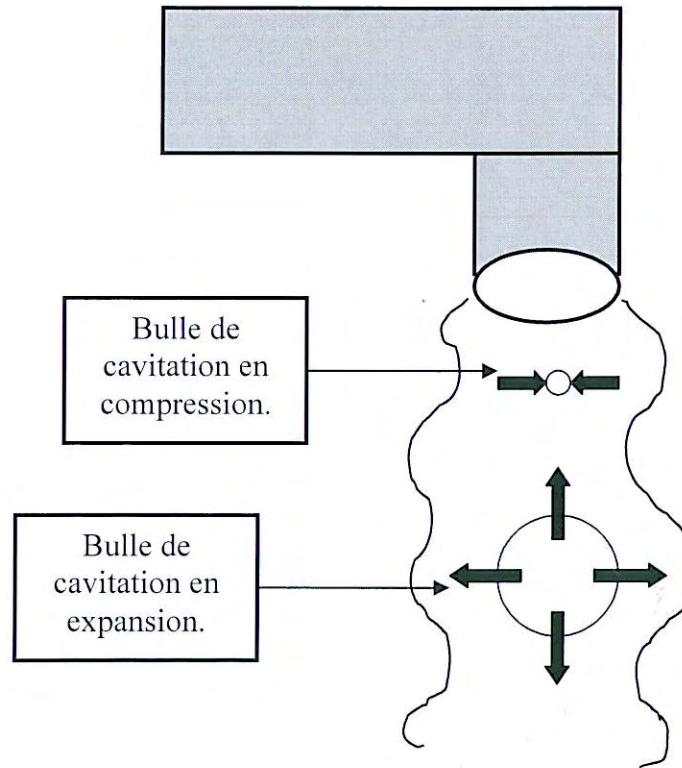


Figure 1 : bulle de cavitation en début d'implosion au voisinage d'une surface.

ANNEXE V

Schématisation des micro-mouvements (d'après Bussièrè).



ANNEXE VI

Tableaux cliniques proposant plusieurs indications à l'utilisation des U. S.

**Tableau 1 : BISSCHOP G. De. , BISSCHOP E. De. , COMMANDRE F. -
Electrophysiothérapie. – 5^{ème} éd. - Paris : Masson, 1999. – 166 p.**

Adhérences	Massage local à forte intensité. Modalité pulsée
Arthroses	Massage de l'articulation, 8 à 10 minutes. Massage des muscles paravertébraux sur les deux zones radiculaires correspondantes.
Coxarthrose	Sur le grand trochanter (5 min, 2 W/cm ²), sur les insertions des adducteurs (5min, 2 W/cm ²), sur les racines nerveuses de l'articulation intéressée (5min, 2 W/cm ²).
Chéloïdes	Applications en point fixe (5min, 2 W/cm ²).
Cicatrisation	Massage local (5min, 2 W/cm ²).
Entorse	Précocement : point fixe loco Dolenti, à forte puissance (1 min). Après la phase aiguë : massage loco régional (10 min).
Epicondylalgie	Point fixe avec une puissance réveillant la même douleur (1 min).
Contractures lombaires, lumbago	Massage de la région douloureuse (5 à 10 min).
Hémorroïdes	Point fixe. Pulsé. Utilisation d'un cône réducteur directement appliqué contre l'anus ou le paquet hémorroïdaires, ou par l'intermédiaire d'une vessie pleine d'eau (3 min, 0,5 W/cm ²).
Induration des corps caverneux	Massage sur le corps caverneux (3 min, 1 W/cm ²) et sur la région lombaire (2 min, 2 à 3w/cm ²).
Ligamentites et bursites	Applications locales à point fixe (5 à 7 min, 1 à 2 W/cm ²), ou irradiation locale sous l'eau à forte puissance.
Maladie de Dupuytren	Débuter le traitement au début, lorsque les nodules sont encore sensibles. Série de 15 séances de 5 min. Puissance maximale supportable. 2 à 4 par an sans interrompre le traitement plus de dix mois. En associant l'ionphorèse de mg. Application sur le ganglion stellaire et le pli du coude.
Maladie deLedderhose	Idem mais au pied.
Maladie de Quervain	Massage tout le long des gaines des extenseurs (5 à 10 min, 2 à 3w/cm ²).
Névromes	Modalité pulsée de faible puissance (0,5 à 0,8 W/cm ² , 5 à 8 min). Ou bien modalité continue (0,5w/cm ² , 3 min). Associée à la sonophorèse d'hydrocortisone ou de Kétoprofène.
Cervico-brachialgies	Massage paravertébral des racines cervicales, et point fixe sur les points cutanés hyperesthésiés
Lombo-sciatique	Massage lent paraspinal L4, L5, S1 et sur le trajet douloureux radiculaire. Points fixes sur les points de Valleix.
Névrome d'amputation	Point fixe sur le moignon, à la limite de la douleur.
Causalgies	Application sur le ganglion stellaire ou la chaîne sympathique lombaire.

Hématomes	Premières 48 heures : faible puissance en massage au pourtour de l'hématome. Fréquence 3 MHz. Plus tard : Hématome intermusculaire : irradiation de toute la surface, particulièrement aux parties tendinomusculaires. Hématome intramusculaire : 1MHz à faible puissance.
Verrues	Un cône réducteur appliqué sur le traducteur permet de focaliser le faisceau ultrasonore sur la verrue, avec une puissance très élevée.
Oedèmes post-traumatiques	Massage à 3 W/cm ² , sans les dépasser.
Synovite chronique	Genou à 90° dans les limites de la douleur. Massage antérieur et postérieur, à forte puissance en continue. 1 MHz. Pour les gros genoux utiliser des fréquences plus basses (0,7 MHz par ex.).

Tableau 2 : PIERRON A. – Techniques d'application en électrothérapie – 1^{ère} éd. - Paris : Maloine, 1973. – 122 p.

Arthrose	Les U-S sont indiqués dans tous les cas d'arthrose. On effectue un massage de l'articulation durant 8 à 10 minutes on peut y adjoindre un massage des gouttières paravertébrales sur les zones radiculaires correspondantes. Pour les petites articulations, l'application se fait sous eau.
Lombalgie, lumbago	Application sur la région douloureuse pendant 5 à 8 minutes.
Compressions radiculaires d'origine rhumatismale	Cervico-brachialgies, sciatique. On effectue un massage des émergences nerveuses. On peut ensuite effectuer une application tout le long du trajet nerveux.
Irradiation du ganglion stellaire	Les U-S peuvent déclencher le syndrome de Claude Bernard Horner. En pratique, il n'est pas indispensable d'y parvenir. Le malade est placé en décubitus dorsal, l'application est localisée au point d'intersection d'une ligne parallèle au bord supérieur de la clavicule, à 2 cm au dessus de celle-ci, et du bord postérieur du SCOM. La fréquence est de 1 MHz, la puissance varie de 2,5 à 3,5 W/cm ² . Il faut éviter toute sensation de brûlure locale et se baser sur la sensation de transmission à distance, il faudra employer l'émetteur à émission discontinue. <u>Les indications sont les suivantes :</u> - Névralgie cervico-brachiale, notamment à formes acroparesthésique. - Syndrome épaule-main. - Contractures et troubles circulatoires des hémiplésiés. - Périarthrite scapulo-humérale.
Epicondylite	C'est une des indications d'élection des U-S
Ténosynovite rhumatismale	Pas de paramètres disponibles.
Névrome des amputés	Pas de paramètres disponibles.
Algie zostérienne	On peut irradier les émergences des racines atteintes.
Maladie de Dupuytren	L'application se fait sous eau, pendant 6 à 8 minutes, à forte puissance. Il faut répéter plusieurs séries de 15 séances, entrecoupées de périodes de repos.

Cicatrices fibreuses, petites chéloïdes	Les irradiations à puissance élevée doivent être cadencées.
Verrues plantaires	Fréquence 1 MHz. Puissance : 0,5 à 1,5 W/cm ² . L'application est hebdomadaire et d'une durée de 15 minutes. Il faut au moins 4 séances.
Kératodermes, névrodermites	Irradiation superficielle sur 3 MHz.
Applications post-traumatiques	Entorses, ankyloses fibreuses, troubles trophiques post-traumatiques.

Ces deux tableaux démontrent bien le nombre important d'indications possibles. Cependant nous pouvons remarquer que la description des dosages manque souvent de précision.

ANNEXE VII

Niveau de preuve scientifique et grade des recommandations selon l'H. A. S.

Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature (études thérapeutiques)	Grade des recommandations
Niveau 1 (NP1) <ul style="list-style-type: none"> • Essais comparatifs randomisés de forte puissance. • Méta-analyse d'essais comparatifs randomisés • Analyse de décision basée sur des études bien menées 	Preuve scientifique établie A
Niveau 2 (NP2) <ul style="list-style-type: none"> • Essais comparatifs randomisés de faible puissance. • Études comparatives non randomisées bien menées • Études de cohorte 	Présomption scientifique B
Niveau 3 (NP3) <ul style="list-style-type: none"> • Études cas-témoins 	Faible niveau de preuve C
Niveau 4 (NP4) <ul style="list-style-type: none"> • Études comparatives comportant des biais importants • Études rétrospectives • Séries de cas 	
<p>Chaque article sélectionné a été analysé selon les principes de lecture critique de la littérature. Sur la base de cette analyse de la littérature, le groupe de travail a proposé, chaque fois que possible, des recommandations. Selon le niveau de preuve des études sur lesquelles elles sont fondées, les recommandations ont un grade variable, coté de A à C selon l'échelle proposée par l'H. A. S.</p> <p>En l'absence d'études, les recommandations sont fondées sur un ACCORD PROFESSIONNEL.</p>	

ANNEXES VIII

Exemples d'applications ultrasonores.

Tiré de : **CREPON F.** Electrophysiothérapie et rééducation fonctionnelle. - 3^{ème} éd. - Paris : Frison-Roche, 2002 – 170 p.

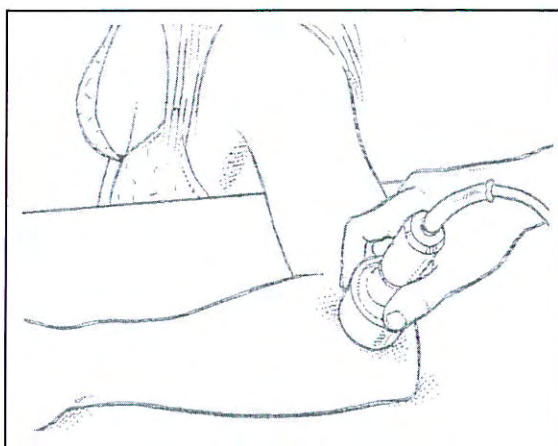


Figure 1 : traitement d'une épicondylite.

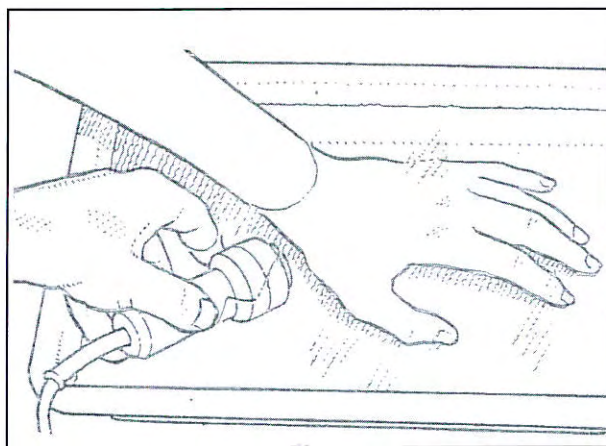
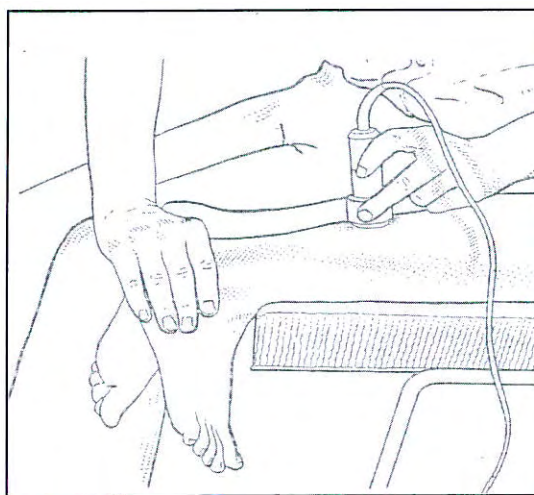
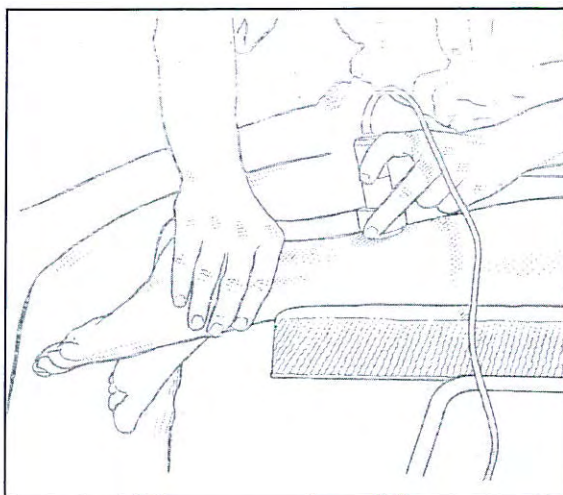


Figure 2 : traitement subaquetique du poignet.



Figures 3 et 4 : traitement de séquelles fibreuses de lésions musculaires du triceps sural en flexion plantaire (fig. 3) et flexion dorsale (fig. 4) active.



Figure 5 : traitement d'une tendinopathie du long biceps.

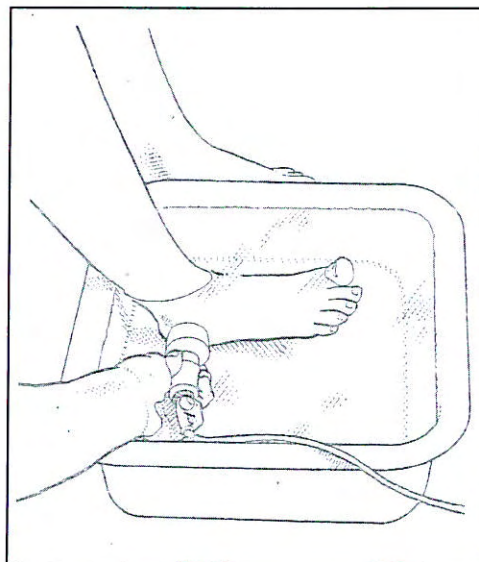


Figure 6 : traitement de séquelles fibreuses d'entorse du ligament latéral externe de la cheville.

ANNEXE IX

Exemples de machines et transducteurs disponibles.



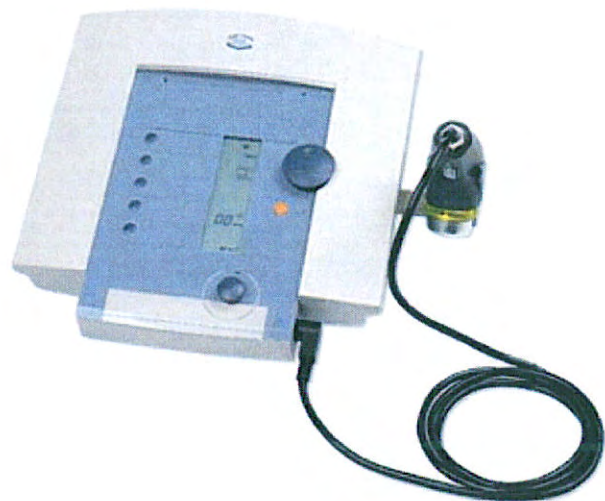
Figure 1 :
Tête avec une E. R. A. de 1 cm².
Existe en 1 ou 3 MHz.



Figure 2 :
Tête avec une E. R. A. de 5 cm².
Existe en 1 ou 3 MHz.



Figure 3 :
Différents modèles de traducteurs.



Figures 4 et 5 :
Exemples de machines à ultrason.