

*Pr Brahim BENMOHAMMED*

*UED : PUNC*

*Chapitre I : Ultrasound Machining Process (USM)*

*2019/2020*

Université Batna 2 – Mostefa Benboulaïd  
Faculté de Technologie  
Département de Génie Mécanique

Master I (Fabrication Mécanique et Productique : FMP)  
Semestre 2 : Cours UED  
Procédés d'Usinage Non Conventionnels (PUNC)

# *Chapitre I :*

# *Usinage par ultrasons*

# *(USM)*

# PLAN DE TRAVAIL :

- *Définition ultrasons*
- *Définition de l'usinage par ultrasons*
- *Principe de fonctionnement*
- *Les composants de la machine*
- *Facteurs influant sur l'usinage*
- *Détermination des particules abrasives*
- *Possibilités de la technologie*
- *Applications*
- *Quelques exemples et performances*
- *conclusions*



# ULTRASONS :

Les ultrasons sont des vibrations engendrées à haute fréquence et non audibles par l'homme , le seuil d'audibilité pour l'homme varie de 16 à 20 kHz selon les individus .

Les ultrasons ont plusieurs applications industrielles :

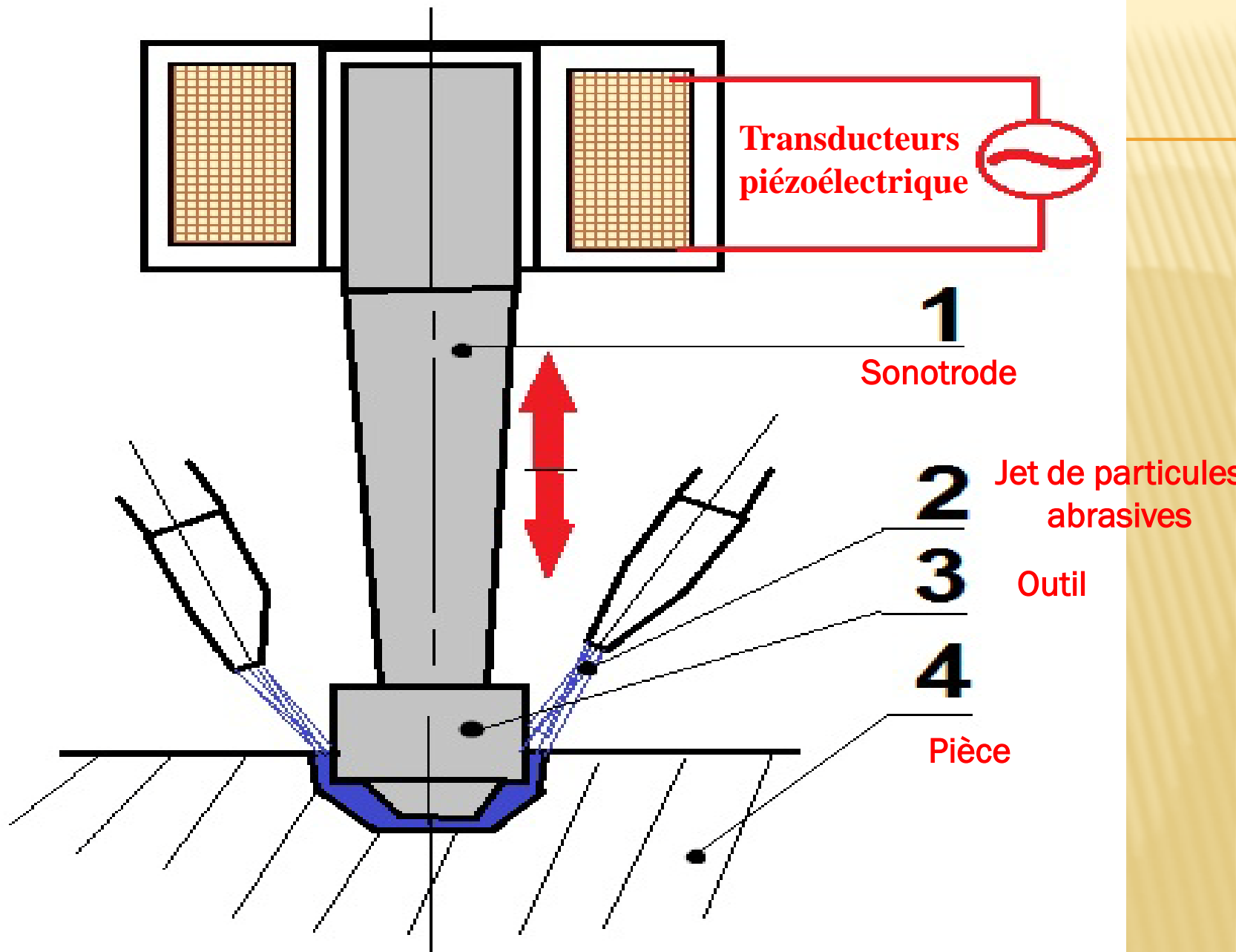
- contrôle non destructif des pièces, mais aussi des êtres vivants (échographie) ;
- chirurgie (désobstruction d'artères, reprise de prothèses de hanches ...)
- mélange de fluides difficilement miscibles ;
- soudage de matières plastiques et de métaux ;
- usinage.

# USINAGE PAR ULTRASONS :

L'usinage par ultrasons est une technique d'abrasion utilisant des grains abrasifs. C'est un micro-usinage de matériaux durs et fragiles, qui vise notamment : les pierres précieuses pour horlogerie et semi-précieuses (le rubis, le saphir, l'onyx), les verres, les verres spéciaux, le pyrex, le quartz, le silicium, la fibre de carbone, le cristal, toutes sortes d'alumines, etc. Elle présente aussi un intérêt pour finir les surfaces, par polissage ultrasonore.

# PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

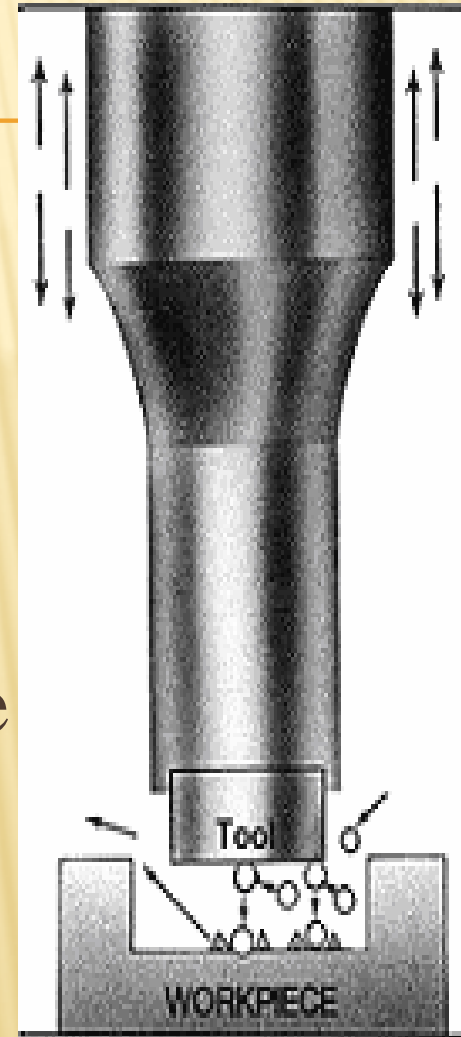
Il s'appuie sur trois phénomènes physiques pour enlever la matière : **le cisaillement**, **l'érosion**, **l'abrasion**. Ainsi cette méthode consiste à projeter des particules abrasives très dures sur la pièce à usiner , à l'aide d'une **sonotrode** (**l'outil**), vibrant à fréquence ultrasonore. L'abrasif est volontairement injecté à l'aide d'un fluide entre l'outil et la pièce.





## On à donc trois actions:

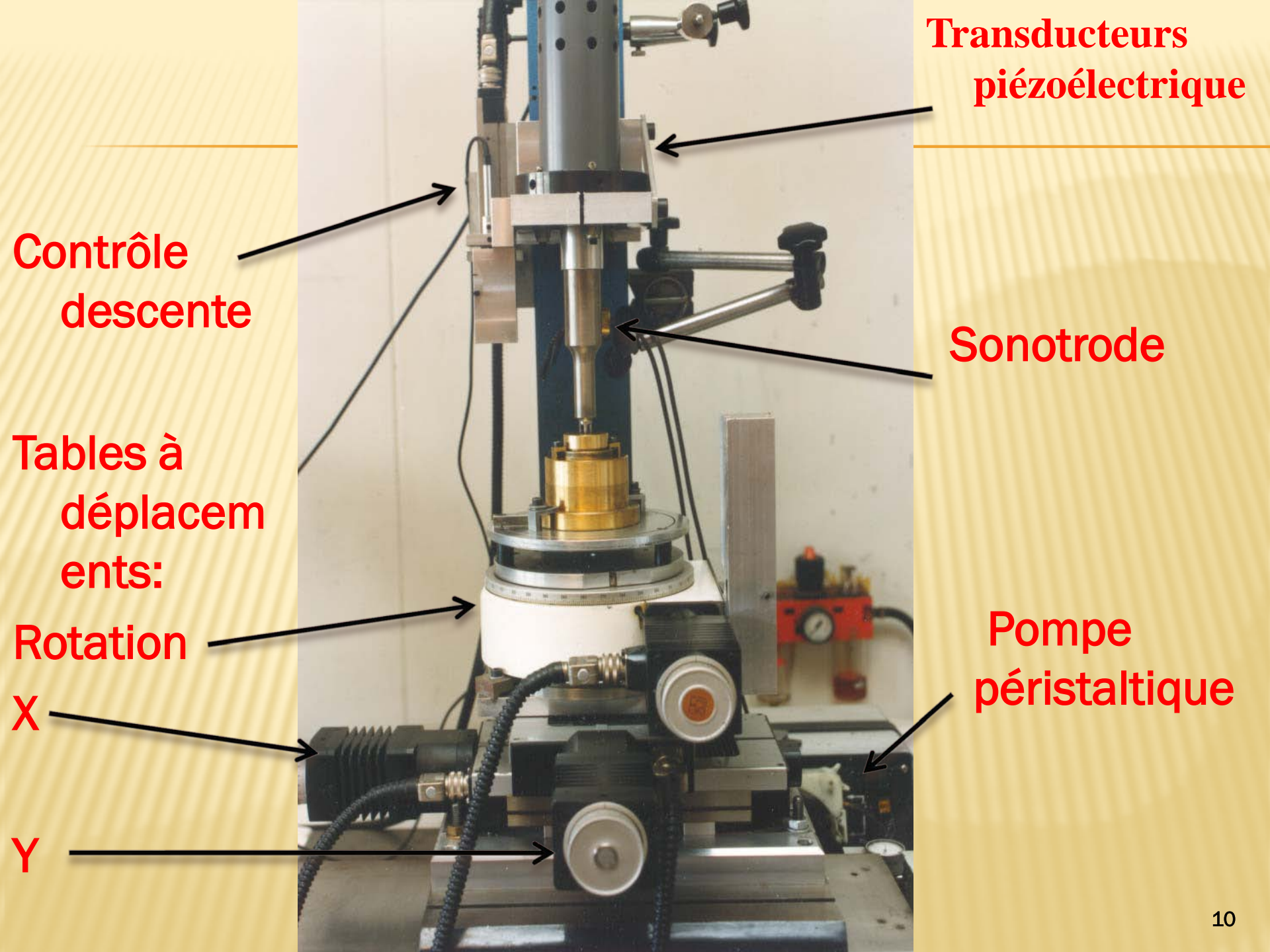
- **Une action mécanique:** due à la projection et au martèlement des grains abrasifs contre la surface de la pièce matériaux fragiles.
- **Une érosion de cavitation:** due aux variations de pression au sein du liquide, engendrées par les variations de la sonotrode. matériaux poreux.
- **Une action chimique:** due au fluide porteur, cette action est le plus souvent inutilisée.





---

# **LES COMPOSANTS DE LA** **MACHINE :**



**Transducteurs  
piézoélectrique**

**Contrôle  
descente**

**Sonotrode**

**Tables à  
déplacements:  
Rotation**

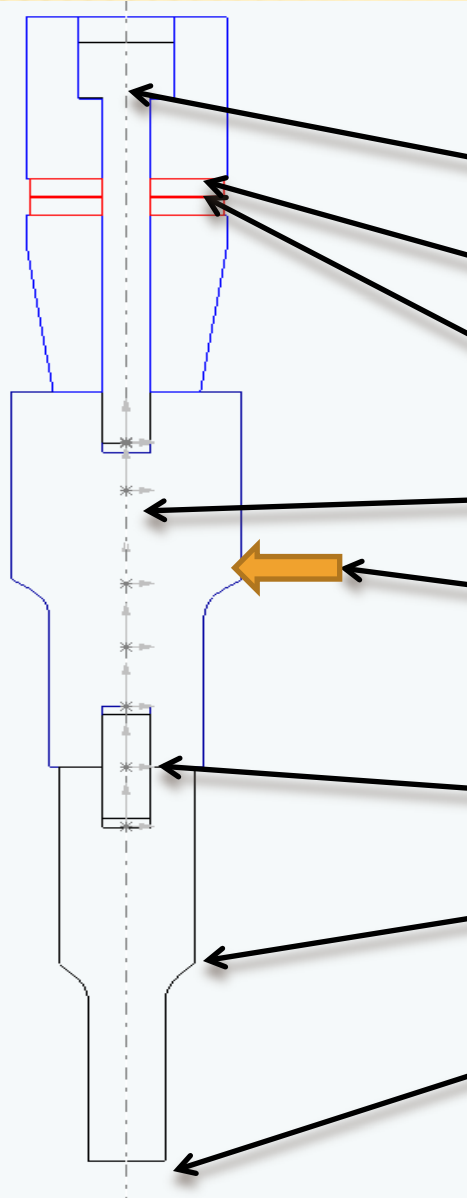
**Rotation**

**Pompe  
péristaltique**

**X**

**Y**

# L'ENSEMBLE ACOUSTIQUE



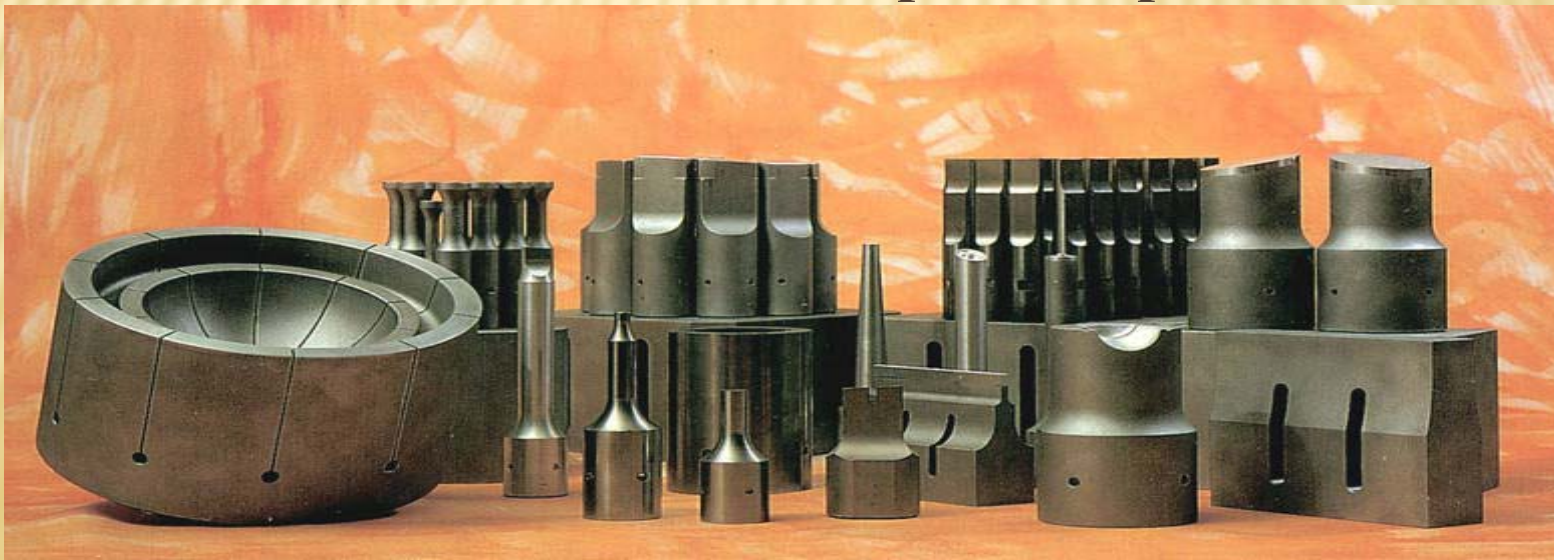
- × Vis de précontrainte
- × Disque piézoélectrique
- × Electrode Excitatrice
- × Amplificateur bicylindrique
- × Fixation au bâti réalisée à l'aide de 3 goupilles placées à  $120^\circ$
- × Goujon de serrage
- × Sonotrode
- × Outil



**Transducteur piezo-électrique:** La production d'ultrasons est réalisée par des transducteurs piézoélectriques. Ces transducteurs permettent la conversion d'une énergie électrique en une énergie mécanique et réciproquement.

**Amplificateur mécanique:** amplifier les efforts de disque piezo-électrique

× **Sonotrode:** de forme cylindre ou plus complexe, elle sert à amener l'énergie acoustique dans la zone de travail. La sonotrode est fixée à l'amplificateur par vissage à l'aide de goujons. Les aciers, alliages de titane, d'aluminium ou de nickel sont les matériaux préférés pour les sonotrodes.



# FACTEURS INFLUANT SUR L'USINAGE :

*L'usure et le travail d'enlèvement de la matière dépendent de nombreux paramètres :*

- × Vibration : fréquence et amplitude*
- × Grain d'abrasif: dimension, nature, concentration au sein du liquide porteur*
- × Profondeur de pénétration*
- × Fluide porteur: nature, conditions de circulation*
- × Outil: nature du matériau, forme et dimensions*
- × Pièce: nature du matériau, forme à réaliser*

*Les performances de ce type d'usinage sont difficiles à analyser. Nous pouvons néanmoins les exprimer par trois critères :*

- × la quantité de matière enlevée,*
- × l'usure relative de la sonotrode,*
- × l'état de surface des flans et du fond de perçage (si non débouchant)*



## *DÉTERMINATION DES PARTICULES ABRASIVES :*

En fait ce sont elles les véritables outils de coupe. Leur nature et la taille des grains doivent être adaptées au matériau à usiner (dureté) et à la qualité des surfaces désirées. Ainsi, on choisira de préférence un matériau de dureté supérieure ou au moins égale à celle de la pièce à usiner . L'usure seule de la sonotrode sera responsable des variations dimensionnelles en cours d'usinage.

- ✘ NB : ne sont pas concernés les matériaux cuivreux. La structure de la matière sur laquelle les grains d'abrasif rebondissent en chocs élastiques entraînent une usure non négligeable de l'outil.



- 
- ✘ Les abrasifs couramment employés sont :  
le diamant, le carbure de bore ou encore le carbure de silicium, qui sont des matériaux très durs.
  - ✘ La concentration d'abrasif est optimale pour une valeur volumique de 30%.
  - ✘ La dimension influe sur la vitesse d'avance et sur tout sur l'état de surface de la pièce usinée.
  - ✘ Les diamètres des grains couramment employés sont:
    - Pour l'ébauche: 50 à 120  $\mu\text{m}$
    - Pour la finition: 20 à 40  $\mu\text{m}$
    - Pour la super finition: moins de 12  $\mu\text{m}$

# POSSIBILITÉS DE LA TECHNOLOGIE :

- ✘ Trous carrés, hexagonaux ou cylindriques de  $0,1 \text{ mm}^2$  de section sur une profondeur supérieure à 5 mm,
- ✘ Trous connectiques obliques,
- ✘ Trous coniques,
- ✘ Rainure: L, V U,...
- ✘ Découpes exotiques....



## **APPLICATIONS :**

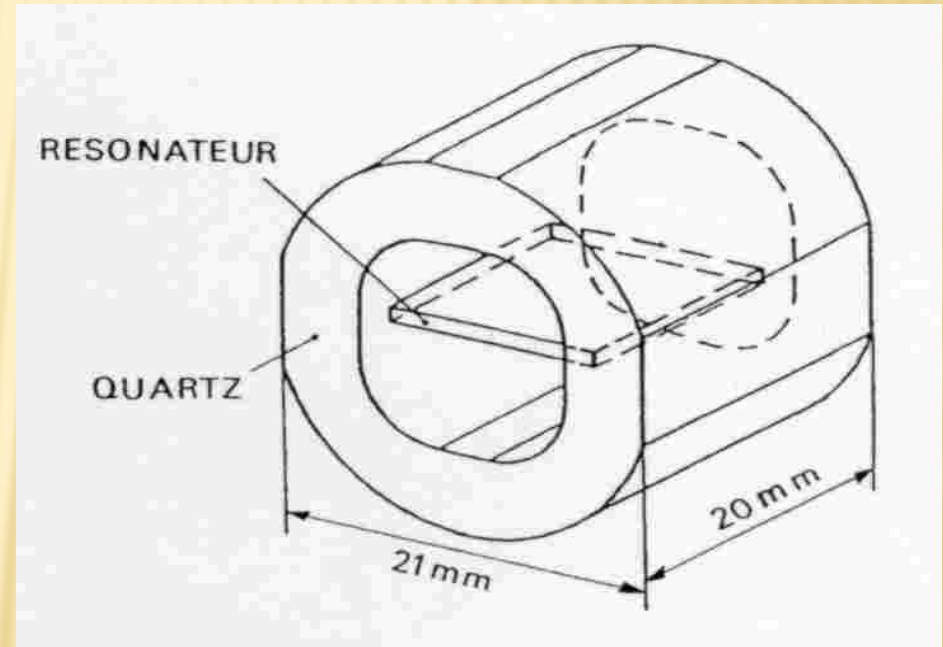
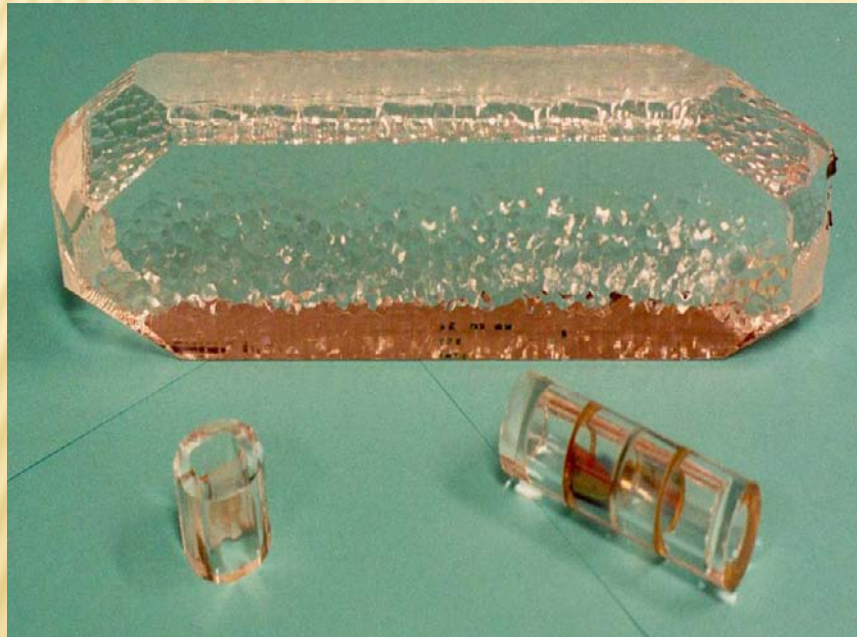
- ✘ Accéléromètres et gyromètres de haute précision entrant dans la conception des systèmes inertiels pour le guidage en aéronautique.
- ✘ Cadrans, lunettes et pièces de mouvements pour l'horlogerie.
- ✘ Micro valves, transducteurs piézoélectriques et implants pour le domaine médical
- ✘ Résonateurs, capteurs de pression et de température (microélectronique),
- ✘ Verre de lunette (gravage et perçage).
- ✘ Wafers silicium, pyrex, quartz, ...
- ✘ Gravure sur matériaux métalliques,





# QUELQUES EXEMPLES ET PERFORMANCES :

## ✘ *Capteur de pression :*





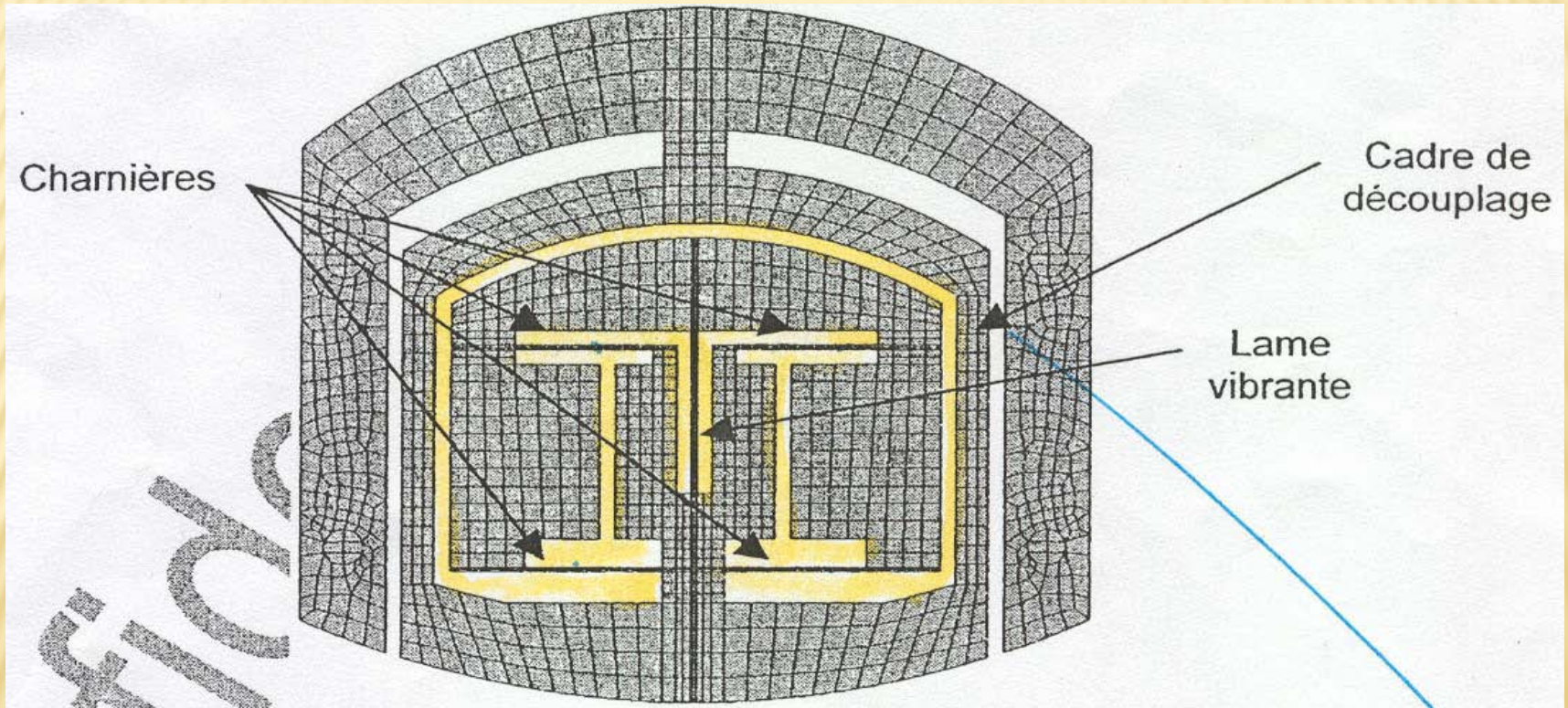
# MICRO-PINCE POUR DES OPÉRATIONS DE MICRO MANIPULATIONS :

Céramique piézoélectrique





# ACCÉLÉROMÈTRE :



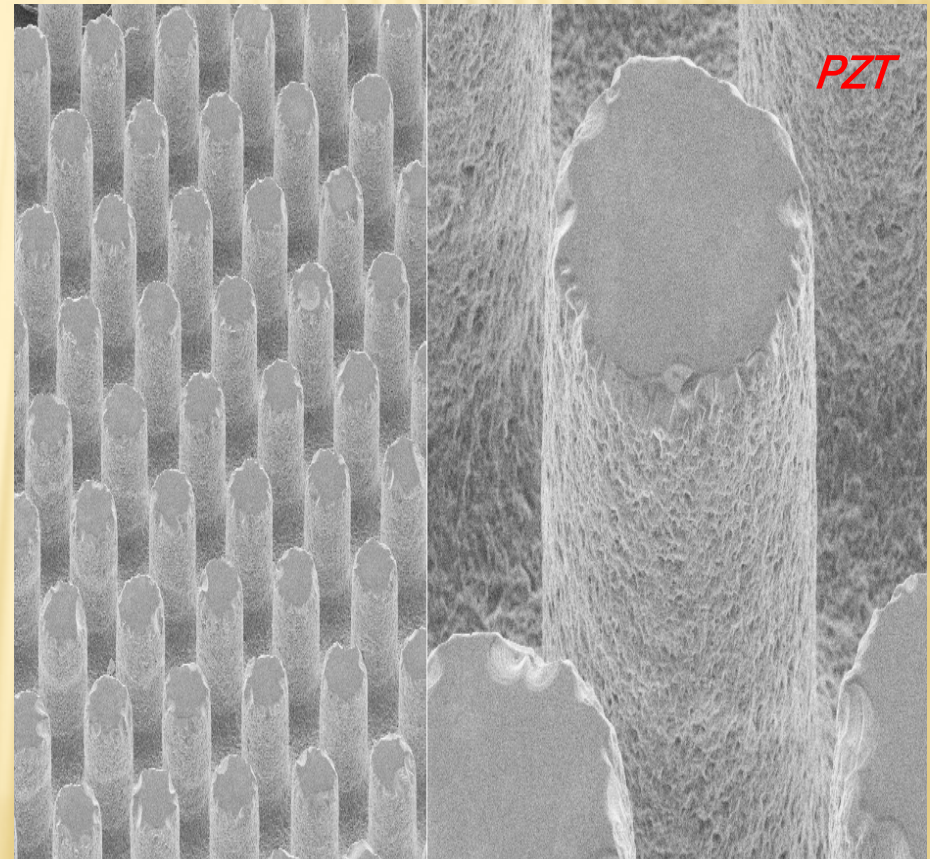
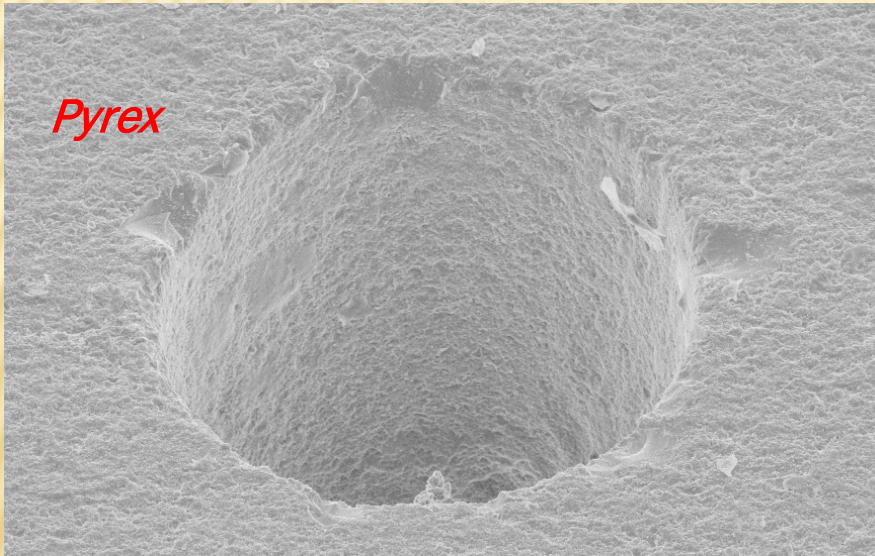
✘ Découpe de 200  $\mu\text{m}$



# AUTRES RÉALISATIONS :

*UltraSonic Machining 280  $\mu\text{m}$   
diameter and 600  $\mu\text{m}$  depth Hole*

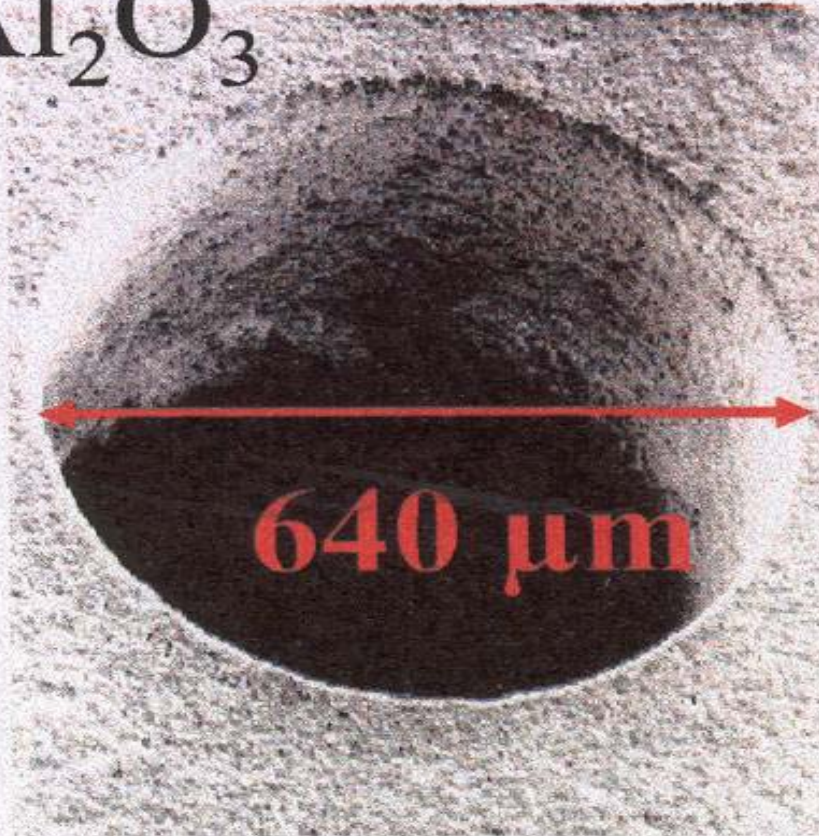
Hole : 420  $\mu\text{m}$  diameter in a 5 mm thick





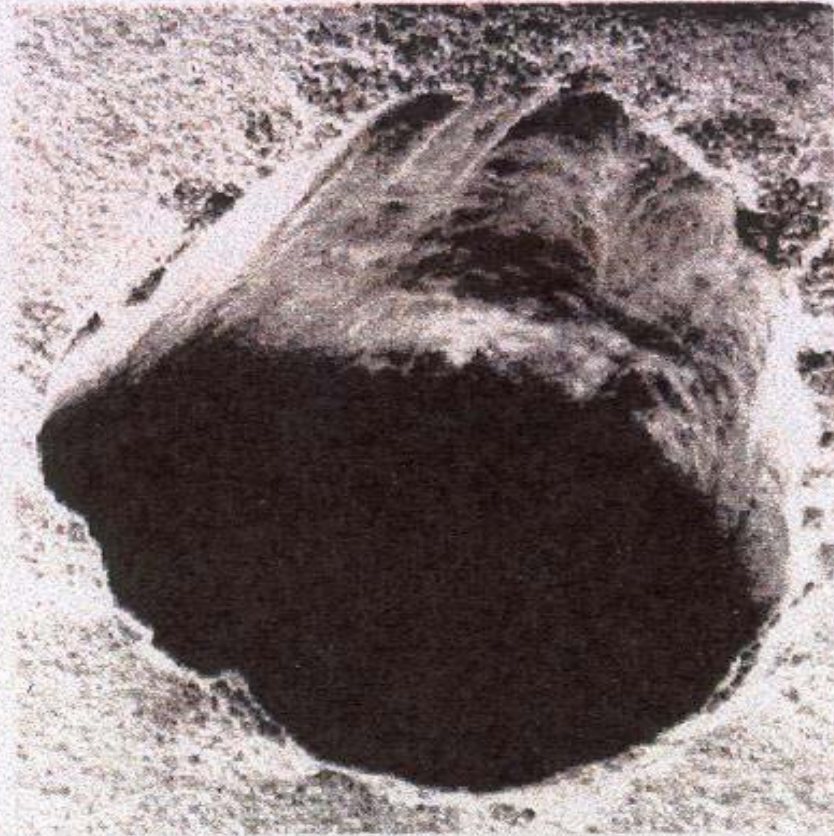
# COMPARAISON AVEC L'ABLATION LASER:

$\text{Al}_2\text{O}_3$



A

**Ultrasonic**



B

**Laser ablation**



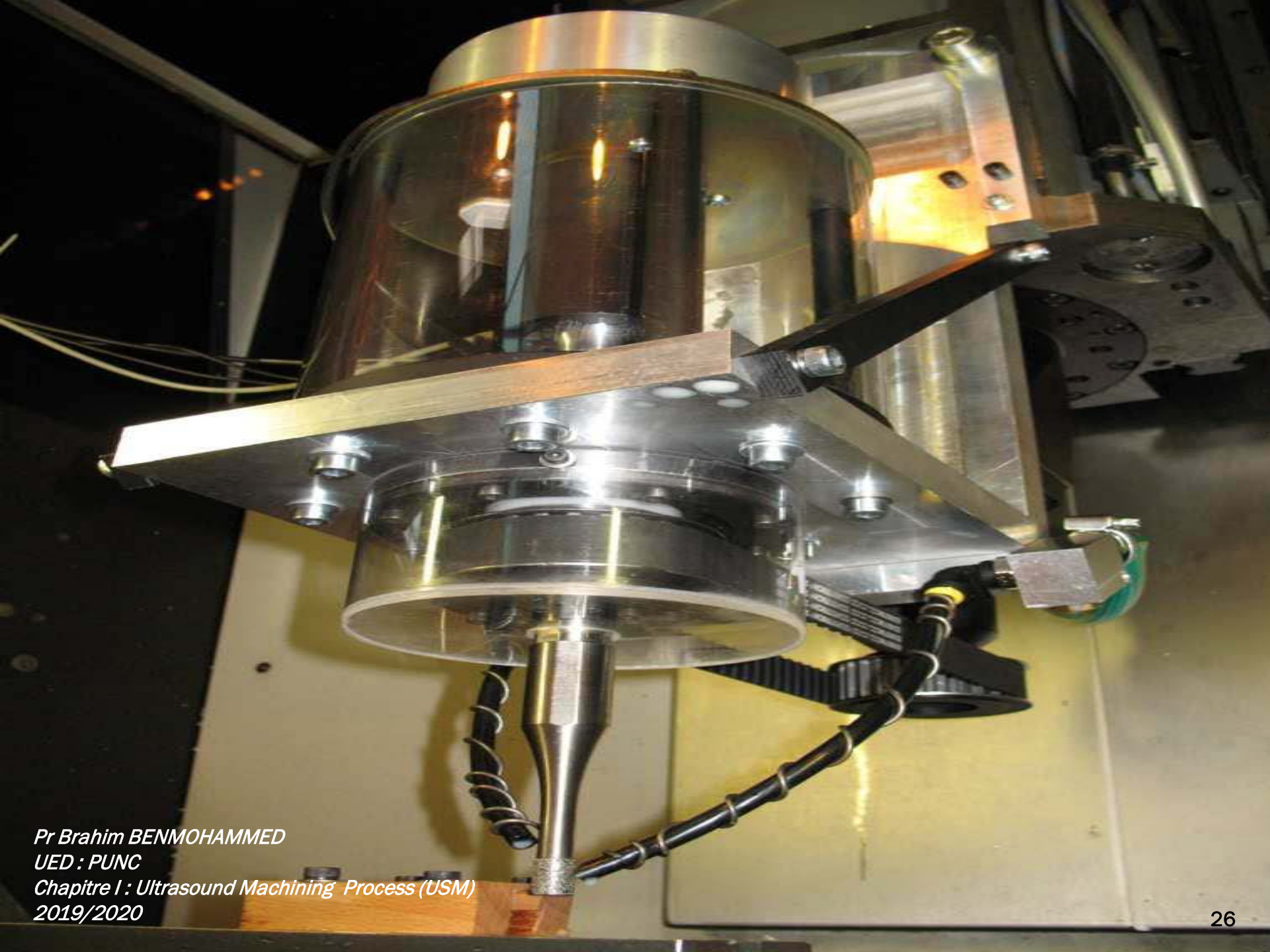
# CONCLUSIONS :

Les intérêts de cette technologie par rapport aux technologies classiques d'usinage :

- ✘ la possibilité d'usiner des matériaux très fragiles telle que la silice, du fait qu'il n'y a aucun contact entre l'outil et la pièce
- ✘ la possibilité d'usiner des matériaux très durs tels que le carbure de bore, le carbure de silicium, le nitrure de silicium
- ✘ la réalisation de formes particulières, tels que des trous carrés, hexagonaux, dans des dimensions éventuellement très petites (inférieures au mm)
- ✘ le perçage de trous profonds (rapport diamètre/profondeur supérieur à 10 pour des petits diamètres)
- ✘ l'usinage est réalisé sans contact entre l'outil et la pièce.
- ✘ Combinable avec d'autres techniques de la microélectronique

---

Merci pour votre  
attention



*Pr Brahim BENMOHAMMED*

*UED : PUNC*

*Chapitre I : Ultrasound Machining Process (USM)*

*2019/2020*