

# Usinage non conventionnel

## Introduction

L'usinage **non conventionnel** les processus technologiques sont apparus au cours des 50 dernières années, grâce au progrès technologique qui a permis d'exploiter les principes physiques des matériaux précédemment inaccessibles à travailler là où les procédés classiques sont limités ou non rentables. Un ensemble de techniques sont basés sur les processus thermique, produits chimiques, électrique ou mécanique différents de ceux traditionnels (fusion, moulage, des procédés d'usinage).

Les procédés non-conventionnels utilisent le courant électrique, la lumière amplifiée, des gaz, des abrasifs libres, des solutions chimiques, ou même l'eau comme moyens d'usinage plutôt qu'un outil de coupe ou d'abrasion conventionnel.

## Objectifs

Ce cours doit permettre à l'étudiant d'acquérir des connaissances dans le domaine de la fabrication mécanique non conventionnelle et/ou moderne. L'objectif est de présenter des techniques modernes de découpe, d'usinage, et d'assemblage ; et de mettre en évidence les spécificités et les problématiques liées à l'utilisation de ces moyens et d'estimer leurs performances par rapport au contexte d'utilisation.

## Classification

Parmi ces procédés nous distinguons :

- Procédés à action mécanique :
- Jet d'eau et jet d'eau abrasif,
- Usinage ultrasonique.
- Procédés électrochimiques :
- Usinage électrochimique,
- Ébavurage et rectification électrochimiques.
- Procédés thermiques :
- Electroérosion,
- Laser, plasma.
- Procédés chimiques.

### 1. Procédés à action mécanique

#### 1.1. Jet d'eau et jet d'eau abrasif

##### 1.1.2. Principe

Le découpage au jet d'eau est un procédé de fabrication qui utilise un jet d'eau hyperbare pour découper la matière (Plastique, organique, métallique, composite, etc.).

##### 1.1.3. Historique

- En 1940, naissance de l'utilisation du jet d'eau en pression pour l'industrie minière,
- En 1968, Invention du premier prototype de la machine de découpe au jet d'eau,
- En 1979, MOHAMED HASHICH et l'abrasif,
- En 2010, Lancement de la technologie au monde du 3D.

### Découpage à l'eau pure

### Découpage avec abrasif

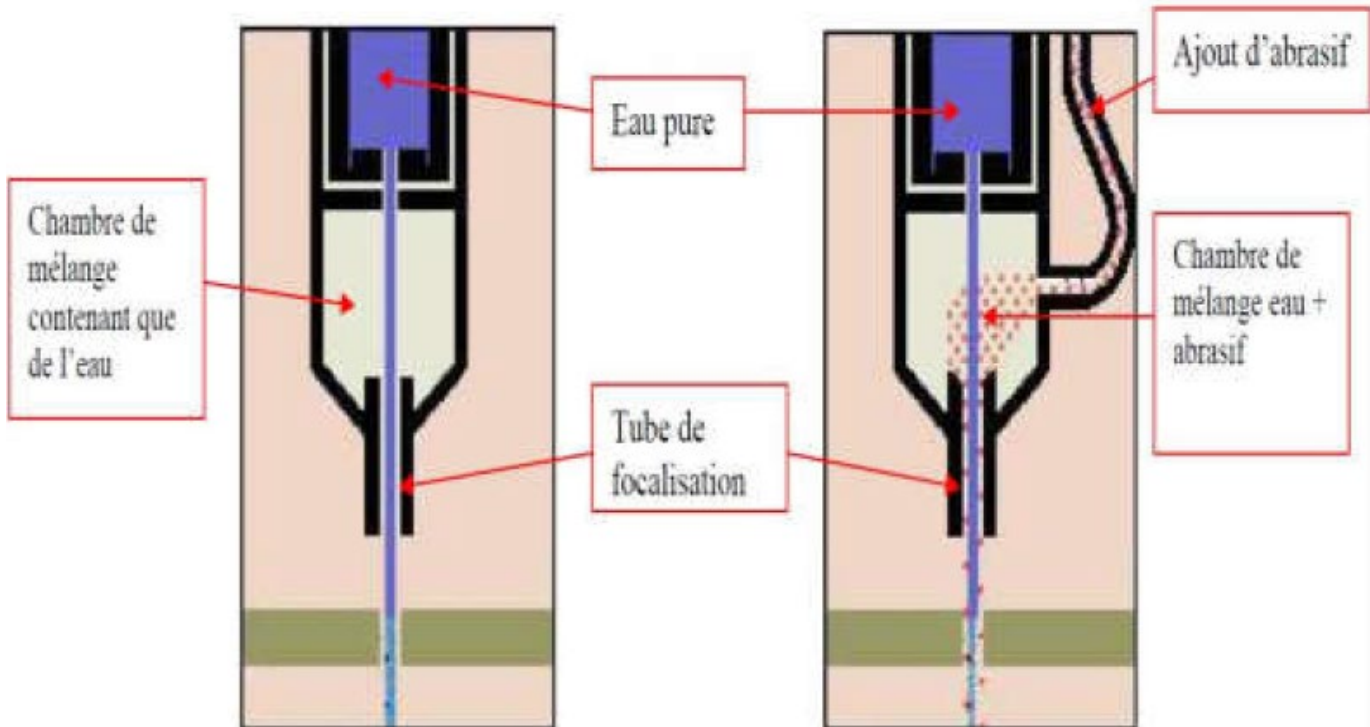


Fig. Schéma de principe de découpage à l'eau pur ou à l'eau + abrasif

#### **Paramètre :**

- Pression de 800 à 4000 bars,
- Ajout de particules abrasives (silicates, alumine) pour la découpe de l'acier et du béton,
- Buse d'injection en saphir diamètre d'injection de 0,075 à 0,5 mm,
- Vitesse du jet: 1000 m/s,
- Vitesse de coupe: 1m/min pour des épaisseurs jusqu'à 100 mm,
- Découpe à sec due à la grande pression.

#### **Avantage :**

- Coupe à froid sans influence thermique
- inusable et facilement réglable.
- précis (quelques 1/100èmes de mm)
- Coefficient d'utilisation optimal de la matière grâce à la réduction maximale des distances entre les pièces
- Usinage non polluant et propre sans émanation de gaz de fumées toxiques
- Productivité élevée grâce aux installations à plusieurs têtes de découpe.

#### **Inconvénients :**

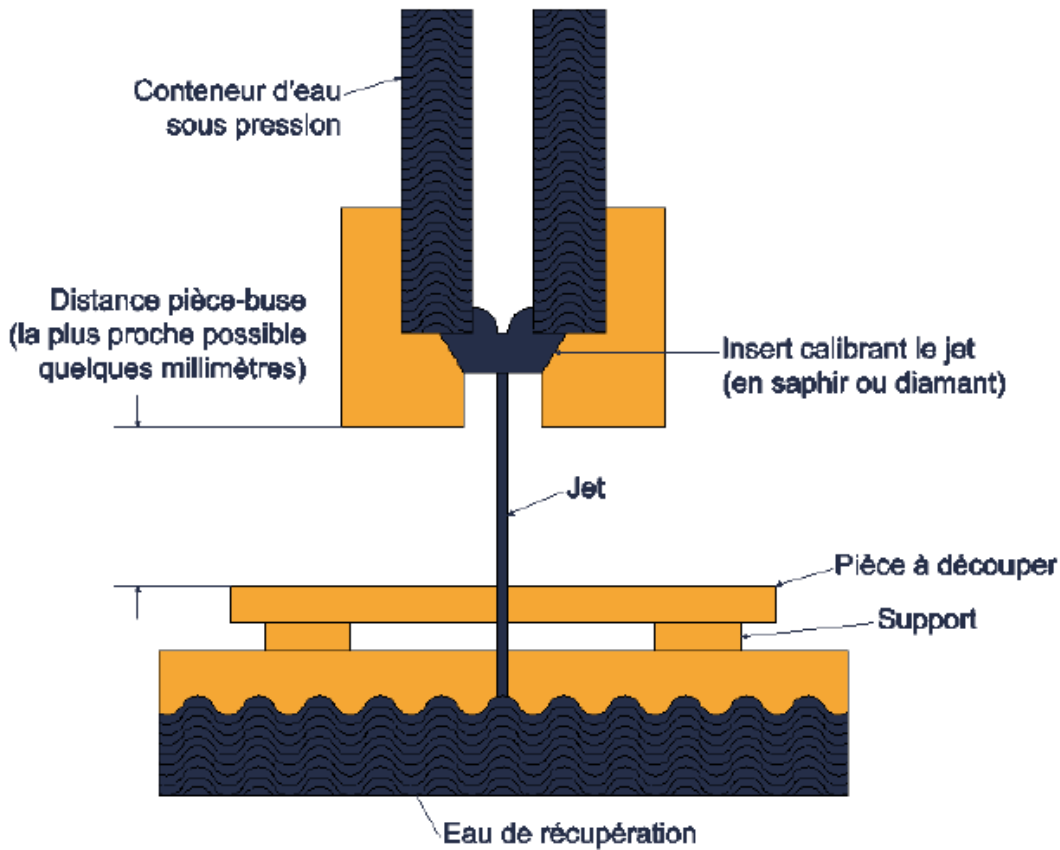
- limitation quant à la forme et à la profondeur de pénétration.
- durée de vie des buses (200 heures sous 4000 bars).
- coût de l'installation (filtration et adoucissement de l'eau)

#### **Utilisations :**

- Mousse, Carton ondulé, contreplaqué, éponge
- Bois, glace, cuir, plaques d'amiante, verre
- Marbre, divers matériaux de construction
- Céramique, acier, aluminium, acier inoxydable, composites
- Plastique

### **1.2. Usinage avec Jet d'eau**

On utilise la découpe aux découpes de matériaux ductiles ou mm (sertie d'un saphir industriel) de la buse, figure 3.2.



### Applications

- Matériaux d'isolation,
- Mousse,
- Joints et garnitures,
- Plastiques et caoutchouc,
- Tapis et textiles,
- Intérieur automobile,
- Couches jetables,
- Alimentaire.

### 1.3. Usinage avec jet d'eau abrasif

On utilise Jet d'eau abrasif dans l'usinage des pièces composés de matériaux les plus durs et les plus épais. Avec des buses de coupe de 0,20 mm à 0,40 mm (sertie d'un saphir ou d'un diamant industriel).

#### Principe :

Le système de découpe à l'abrasif comprend :

- un injecteur d'abrasifs,
- un doseur d'abrasifs.

Les abrasifs utilisés sont caractérisés par :

- Leur dureté,
- Leur dimension granulométrie,
- La matière : composition,
- Leur forme.

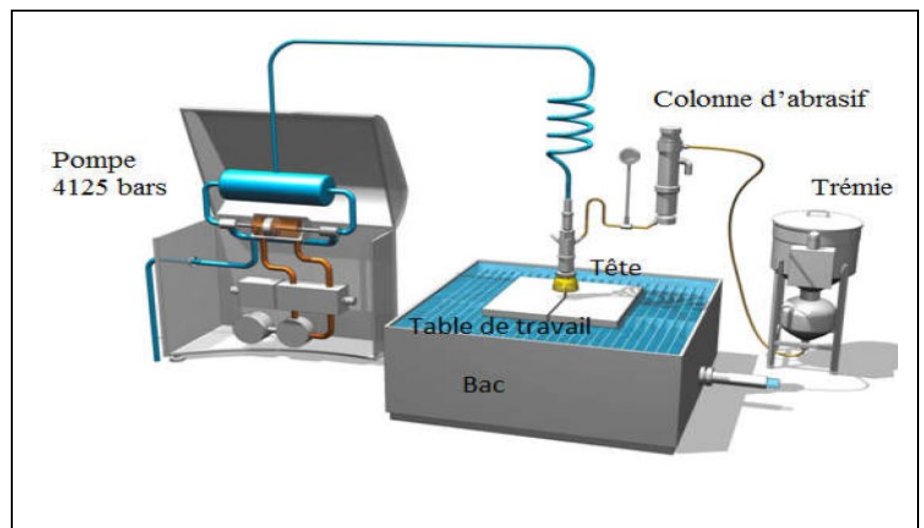


Fig. Installation d'un jet d'eau abrasif.

**Paramètre :**

- Jet d'eau Abrasifs:
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dioxyde de silicium,
- Diamètre de l'orifice = 0.25 à 0.63 mm.
- Gaz + abrasifs :
- gaz = air, azote, hélium, dioxyde de carbone,
- Pression de 0.2 à 1.4 Mpa,
- Diamètre orifice: 0.075 à 1.0 mm,
- Distance orifice-pièce = 3 à 75 mm.

**Applications :**

- Opérations : Finition, ébavurage, nettoyage, séparation des pièces, coupe des matériaux durs: céramiques, pierres, etc,
- Tous types de métaux : Aluminium, acier, titane, cuivre, laiton, alliages, etc,
- Pierre et marbre,
- Verre (sauf le verre trempé),
- Matériaux céramique composites,
- Lamine,
- Matériaux céramiques,
- Carbure,
- De nombreux autres matériaux.

## Usinage ultrasonique

L'usinage par ultrasons est un procédé de reproduction de forme par abrasion particulièrement adapté à l'usinage des matériaux durs, fragiles et cassants (verres, céramiques, quartz, pierre précieuse, semi-conducteur...).

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**, vibrant à fréquence ultrasonore.

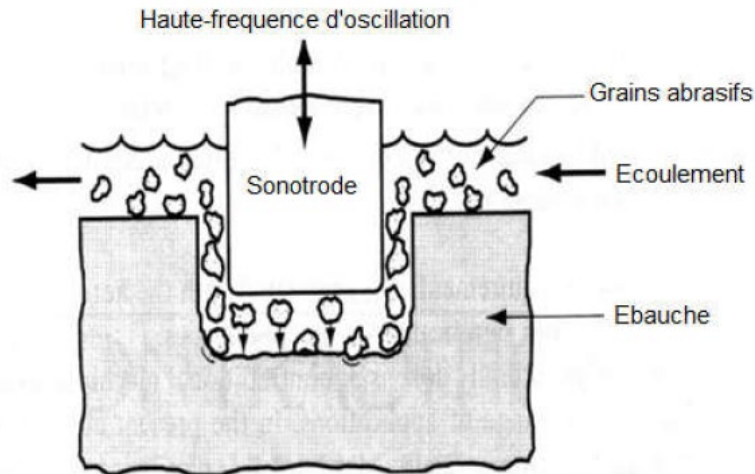


Figure Principe de l'abrasion ultrasonore

### Caractéristiques :

Outil : Acier rapide, Amplitude : 0.075 mm, Fréquence : 20 000 Hz,  
Eau + 20 à 60 % des particules abrasives (SiC, B<sub>4</sub>C, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

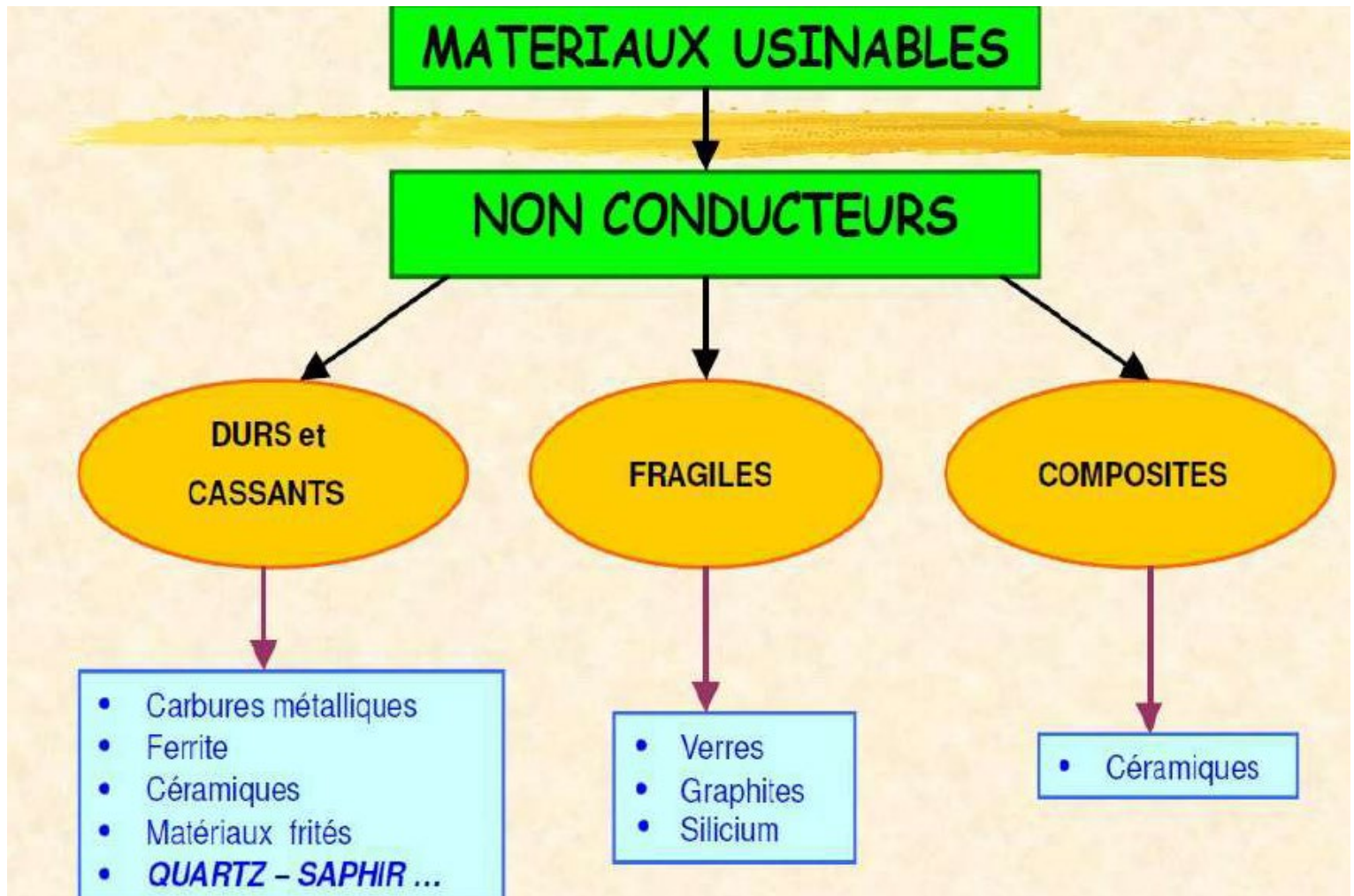
Les particules sont amenées dans la zone de travail par un fluide porteur (par ex. l'eau). Un flux constant assure l'évacuation des copeaux et le renouvellement des grains abrasifs. Plus l'amplitude de vibration est grande plus le débit de matière enlevé est grand

On a donc ainsi trois phénomènes :

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



Fig. Machine d'usinage à ultrasons.



### Performances de l'usinage ultrasonique :

Le procédé peut être caractérisé par trois critères principaux (performances) :

- Débit de matière ;
- Usure relative de la sonotrode ;
- Etat de surface.

Les performances dépendent essentiellement :

- Du matériau à usiner,
- Du matériau de la sonotrode,
- Du matériau des grains abrasifs,
- D'autres paramètres (Concentration, paramètres ultrasonores, charge statique).

Quelques exemples : Pièces usinées par ultrasons.



Fig. Pièces usinées en graphite.

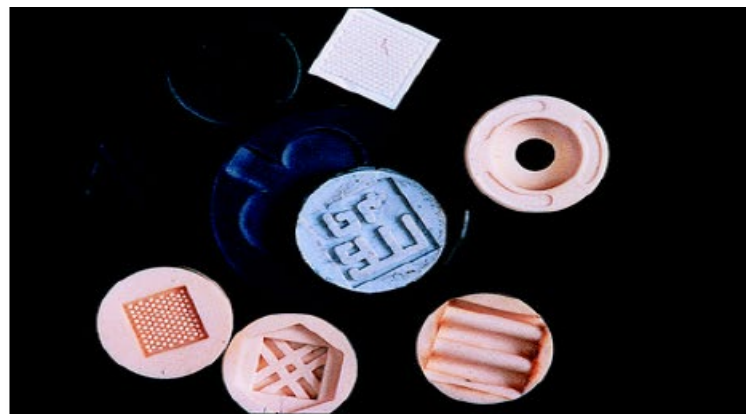


Fig. Pièces usinées en céramiques.

## 4. Procédés électrochimiques

### 4.1. Principe

La pièce métallique qui sert d'anode (+) est raccordée à un courant continu, l'outil sert de cathode (-), le tout arrosé par une solution d'eau salée injectée sur les surfaces à usiner attirant les ions de métal de la pièce.

- L'outil est l'électrode,

- ce procédé est plus rapide que le chimique mais il y'a dégagement d'hydrogène et d'oxygène,

- Recyclage des boues dangereuses ( $4\text{Fe}(\text{OH})_3$ ),

- L'outil ne s'use que par contact avec l'électrolyte.

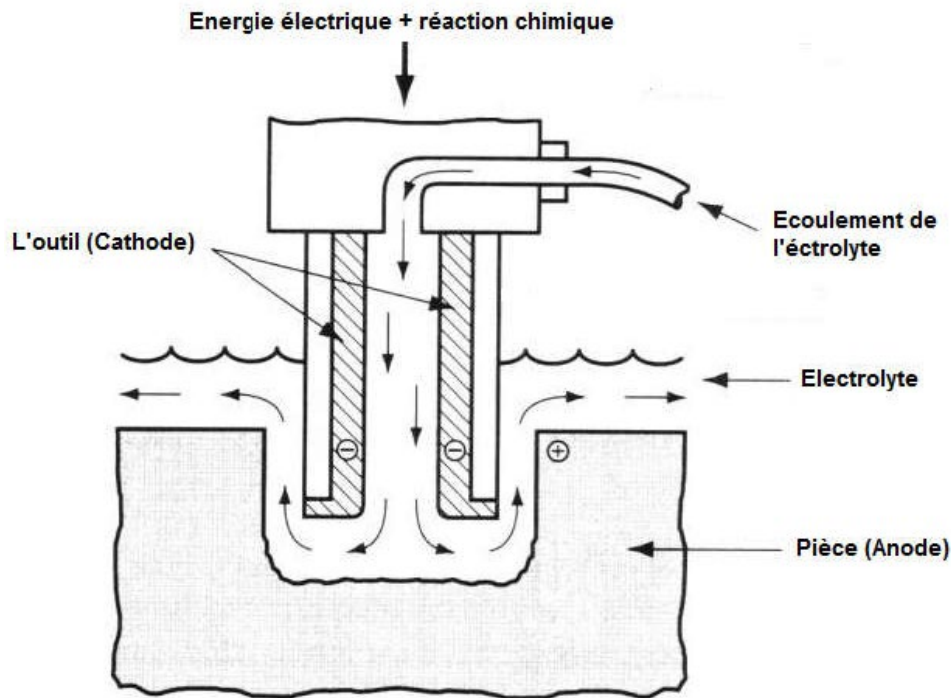


Fig. Coupe par dissolution anodique.

### 4.2. Applications

- Usinage des matériaux conducteurs d'électricité (Al, Cu, Fe, Ni, aciers),
- Usinage des matériaux frittés,
- Usinage Matériaux durs ou difficiles-à-usiner ou pour des géométries complexes,
- Formes irrégulières et complexes des moules,
- Perçage des trous non ronds,
- Ébavurage,
- Rectification plane ou cylindrique,
- Usinage de matrices ou moules, ébavurage, affûtage,
- Possibilités : précision 0,01 mm en rectification et 0,1 mm en défonçage.

### 4.3 Avantages

- Pas de contact, peu de dommage à la pièce.
- Pas ou peu d'usure de l'outil
- Pas de bavures
- L'absence d'opération d'ébauche
- Le perçage avec des rapports profondeur/diamètre très importants (< 200)
- L'usinage de parois minces par usinage simultané des deux côtés de la pièce, par exemple pour les aubes de turbomachines
- Vitesse d'usinage de 0,1 à 2 mm/min. (10 fois plus rapide que l'électro érosion à enfonçage)
- Les qualités de surface de l'électrode sont reproduites à valeur identique.
- Rugosité pouvant atteindre  $R_a 0,03\mu\text{m}$
- Pas de contrainte mécanique sur la pièce

### 4.4 Inconvénients

- Coûts du système électrique
- Coûts de traitement de l'électrolyte
- Problèmes de corrosion
- Difficultés inhérentes à l'électrolyte
- À l'existence de pressions hydrauliques élevées (inférieures à 25 bar)
- Aux études et à la mise au point de(s) l'outil(s)

**4.5 Exemples d'usinage électrochimique**

**a. Ébavurage électrochimique**

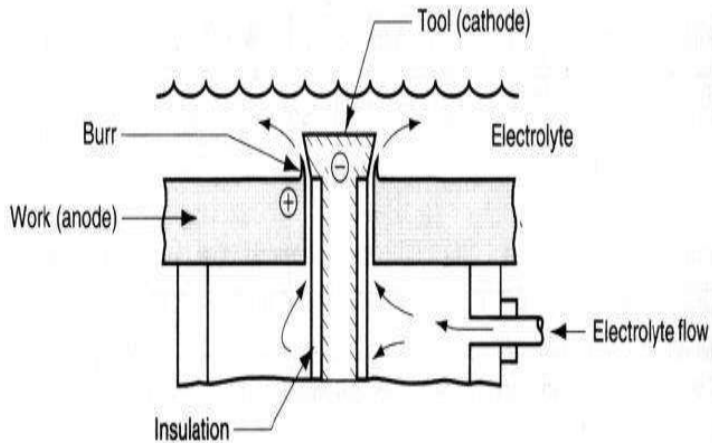


Fig. perçage électro chimique

**c. Applications**

Aiguiser les outils de coupe rectifier les aiguilles chirurgicales usiner des tôles et tubes minces usiner des pièces fragiles

**b. Rectification électrochimique**

95% de coupe par procédé électrochimique, 5 % rectification ordinaire, --> vie des meules améliorée

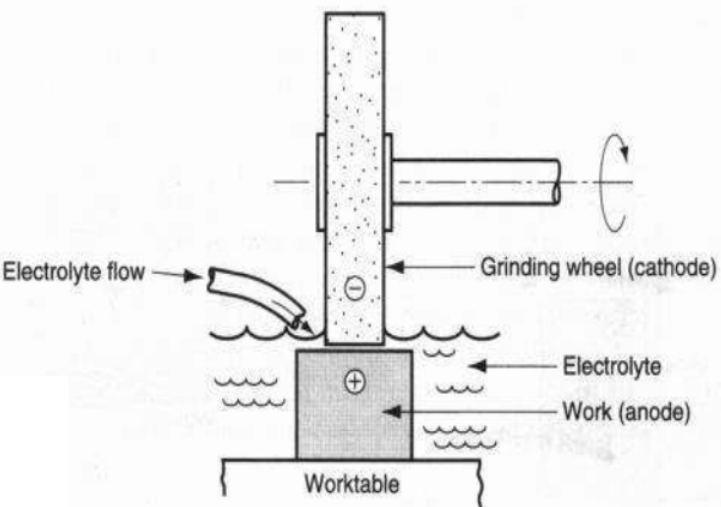
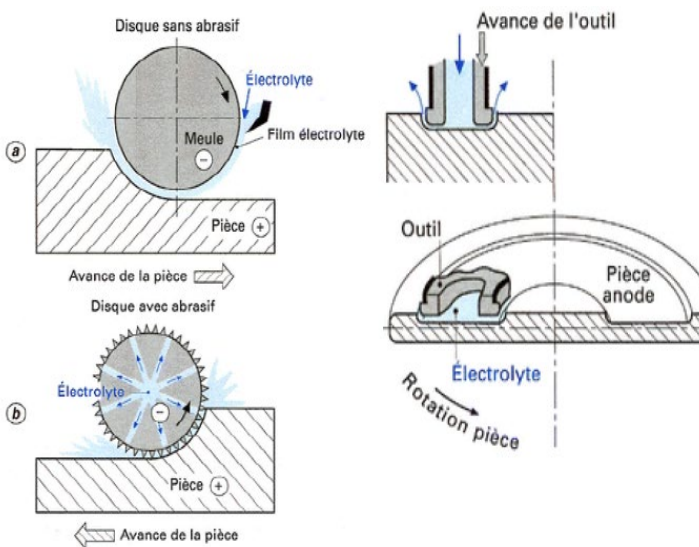


Fig. Rectification électrochimique



**Exemples de pièces obtenues par procédé électrochimique**



Fig. Exemples de pièces ébavurées.



**Usinage de denture :**  
 Hauteur : 6,5mm  
 Posage : 10 pièces  
 Cycle d'usinage : 11 min  
 Rugosité Ra < 0,2 µm



Fig. Exemples de pièces usinées.