

The background features a large, semi-transparent logo for 'CARSLAAS'. The word 'CARSLAAS' is written in a stylized, 3D font. The 'CARSL' part is light grey, and the 'LAAS' part is yellow. The 'LAAS' part is enclosed within a light blue oval. The entire logo is set against a light blue background.

LES RESINES EPAISSES

PLAN

- TECHNIQUES DE FABRICATION DE MICROOBJETS
- OBJECTIFS
- RESINE POSITIVE « NOVOLAQUE »
Mise en œuvre
- RESINE NEGATIVE « SU8 »
Mise en œuvre
- RESINE POSITIVE ELECTRODEPOSEE
Mise en œuvre
- LA STEREOLITHOGRAPHIE

TECHNIQUES DE FABRICATION DE MICROOBJETS

Le LIGA

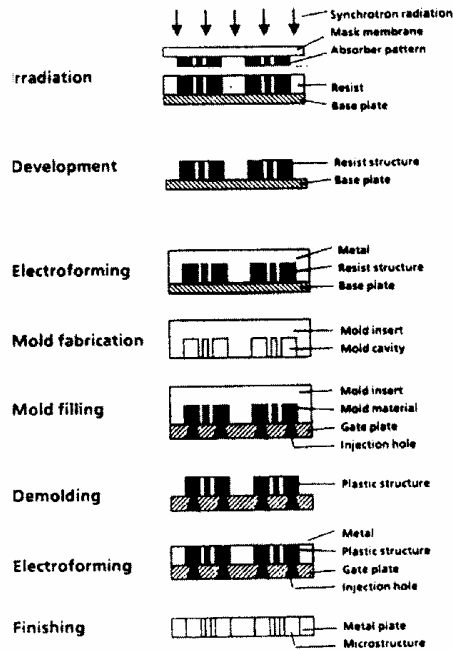


Figure 1. The LIGA process.

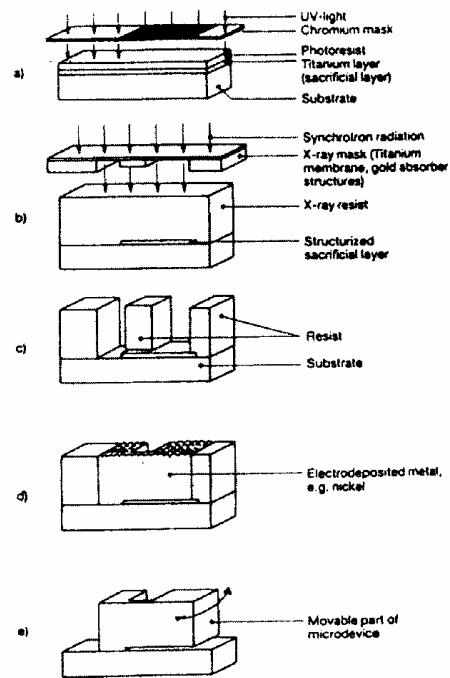
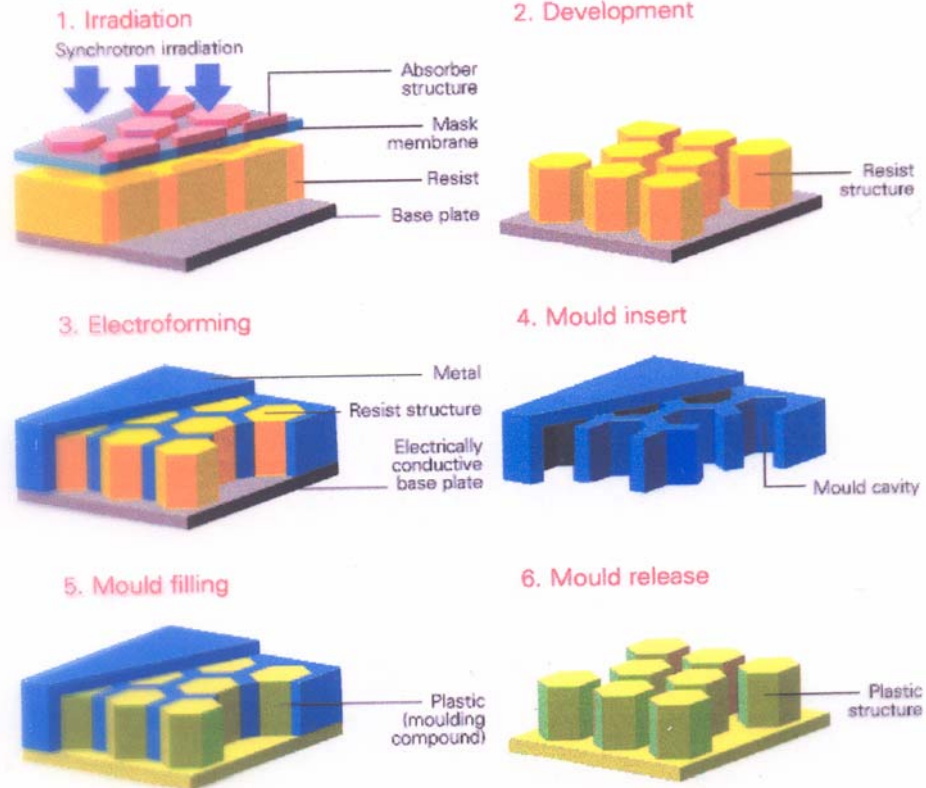


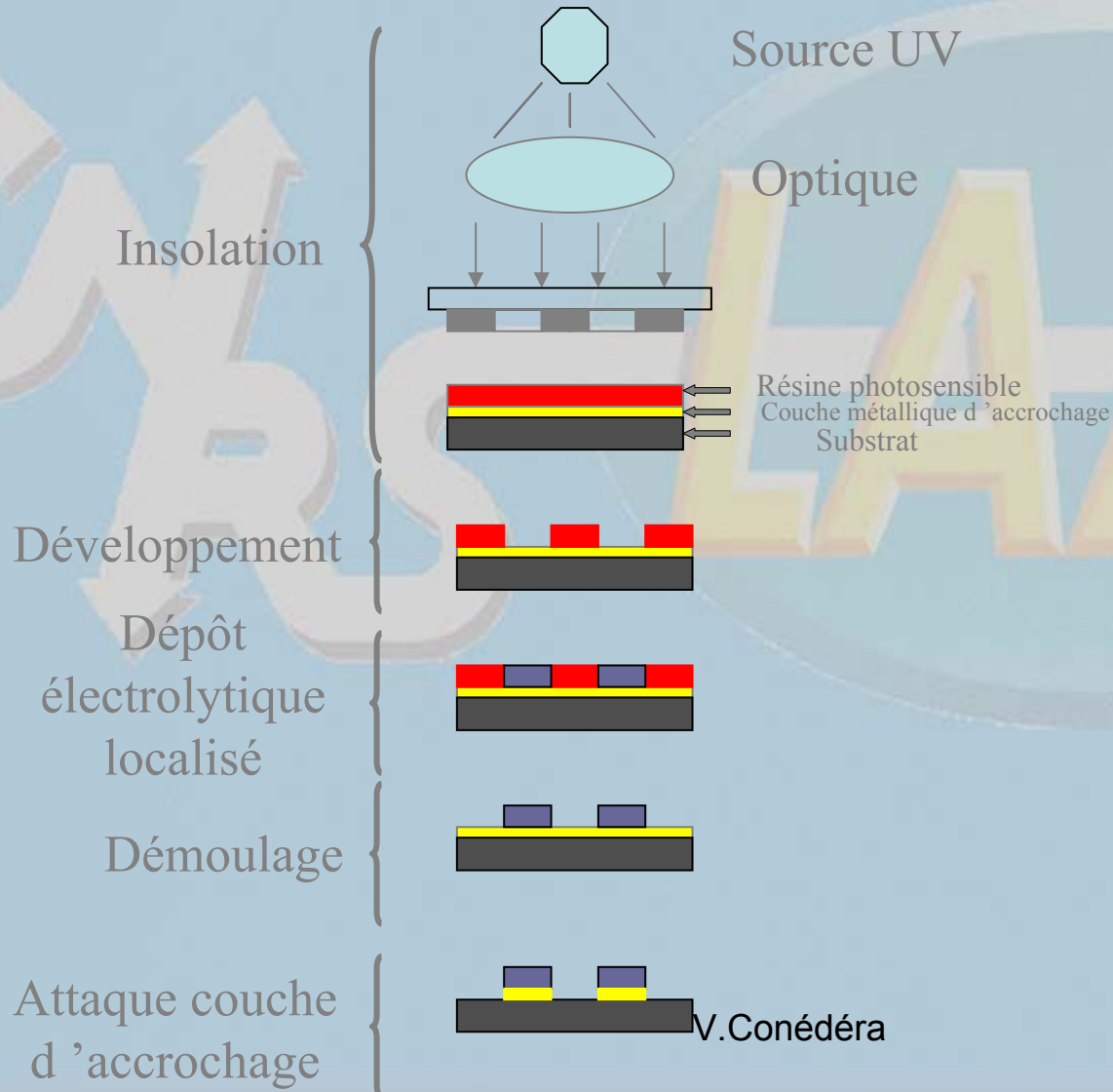
Figure 2. Generation of movable LIGA structures.

TECHNIQUES DE FABRICATION DE MICROOBJETS

LIGA Technology.



TECHNIQUES DE FABRICATION DE MICROOBJETS PR>0



OBJECTIFS

EPAISSEURS : E

$$10\mu < E < 150\mu\text{m}$$

PROFILS

→ Voisins de 90°

RESOLUTION

$$H/D = 10$$

RESISTANCE CHIMIQUE

→ Plusieurs heures dans les bains de d'électrolyse

$$1.5 < \text{PH} < 4$$

Température: 50°

RESISTANCE MECANIQUE

→ Pas de déformation

→ Stress

ADHERANCE

→ Maîtrisée (pas de soulèvement)

STRIPPING

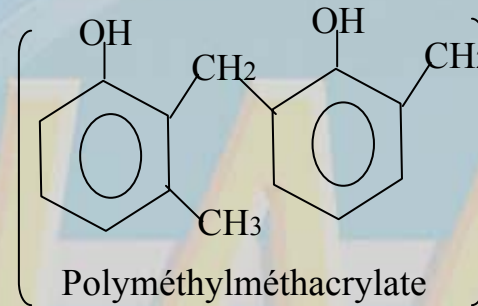
→ Solvants

→ Révélateurs

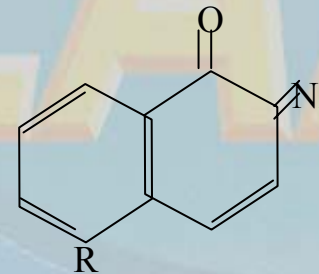
→ Plasma

COMPOSITION D'UNE RESINE NOVO LAQUE

POLYMERE



COMPOSE PHOTOACTIF



SOLVANT

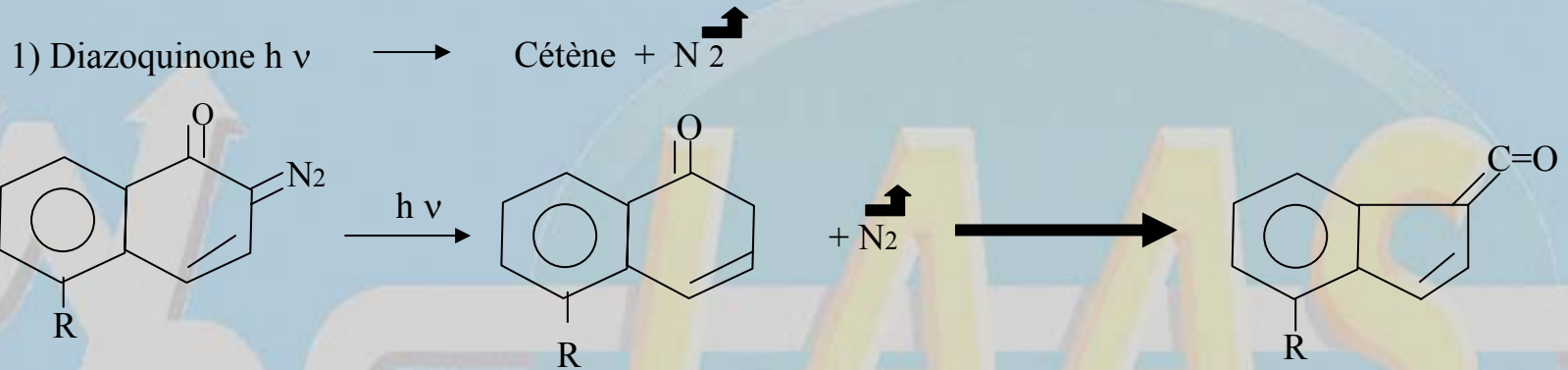


P.G.M.E.A.(1-méthoxy-2-propyl-acétate)

V.Conédéra

REACTIONS CHIMIQUES

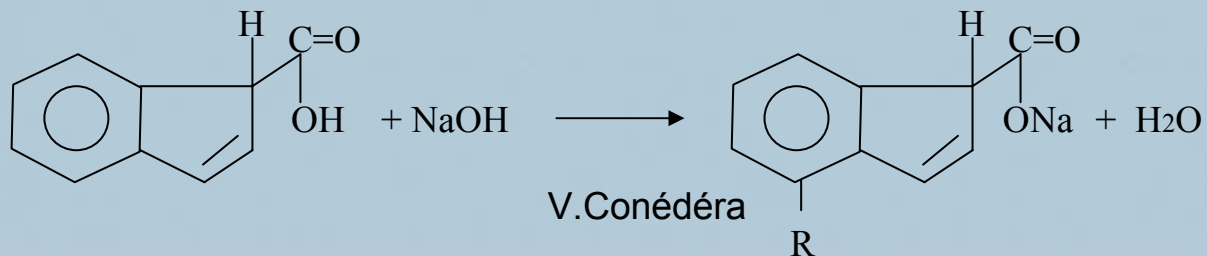
Schéma de Schuss (1949) [1]



2) Hydrolyse du cétène en acide



3) Formation d'un sel soluble avec le révélateur alcalin

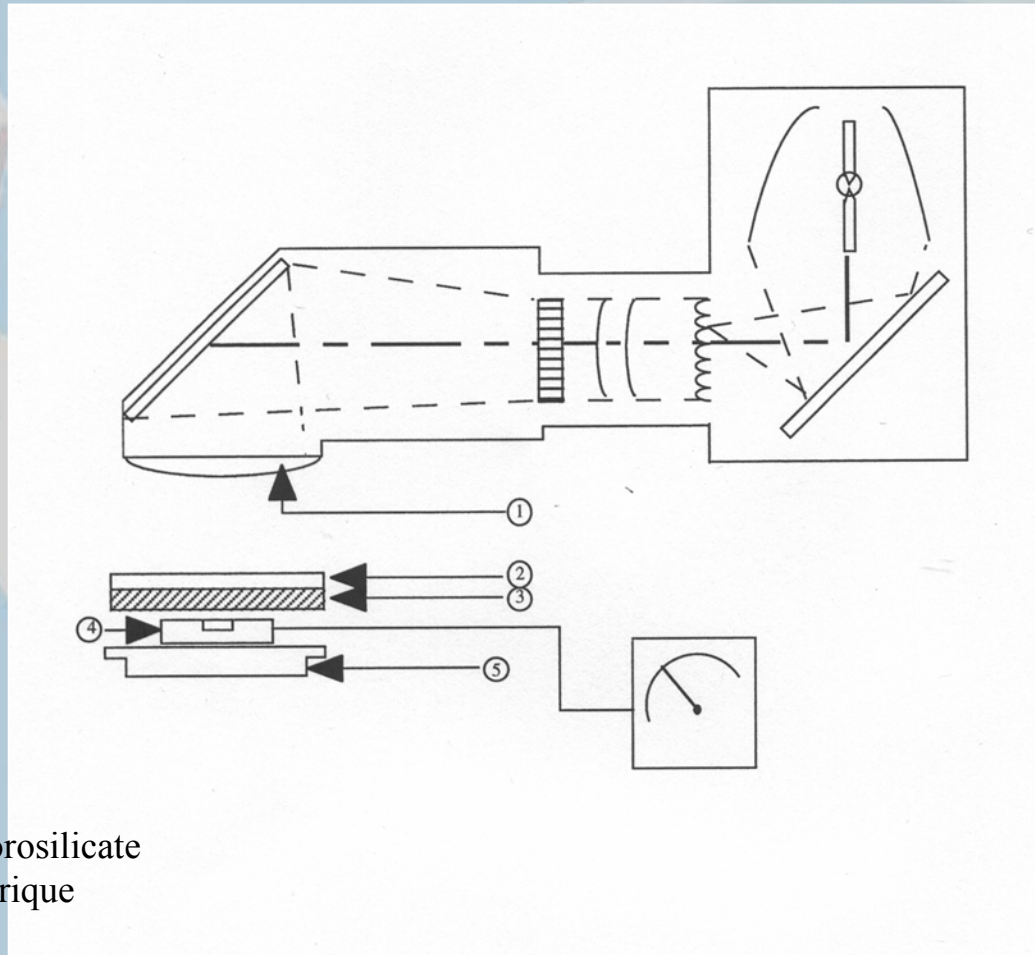




**MOYEN DE CONTRÔLE
DES PARAMETRES TECHNOLOGIQUES**

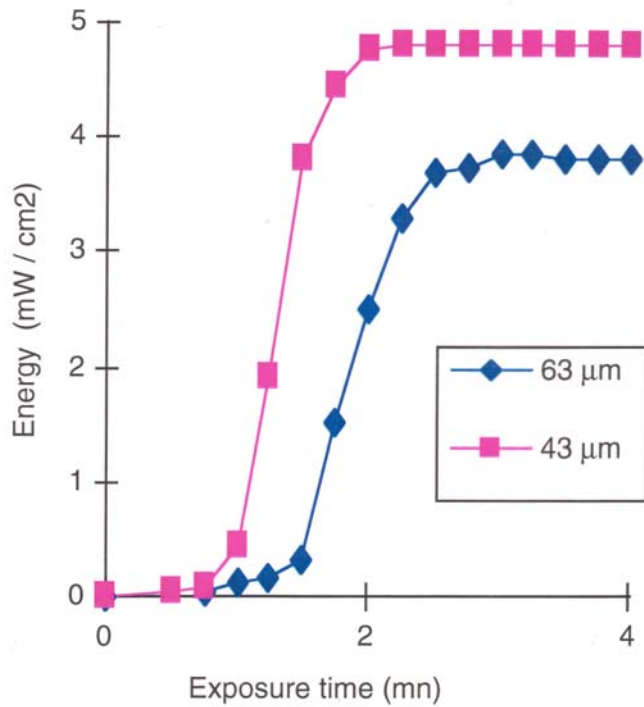
V.Conédéra

PROCESSUS EXPERIMENTAL D 'OPTIMISATION DU TEMPS D 'INSOLATION ET DE PRERECUIT

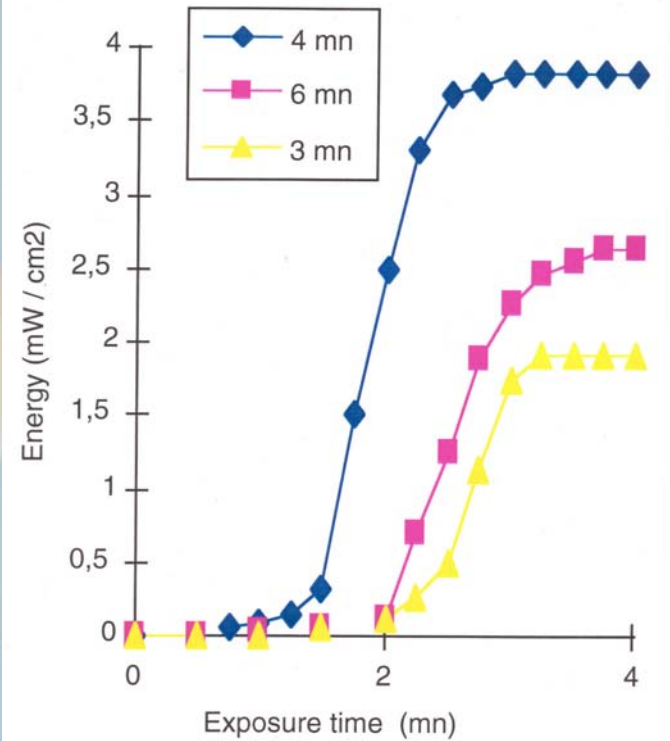


- 1) Lentille frontale
- 2) Photoresist
- 3) Plaque de verre borosilicate
- 4) Cellule photoélectrique
- 5) Chuck

V.Conédéra

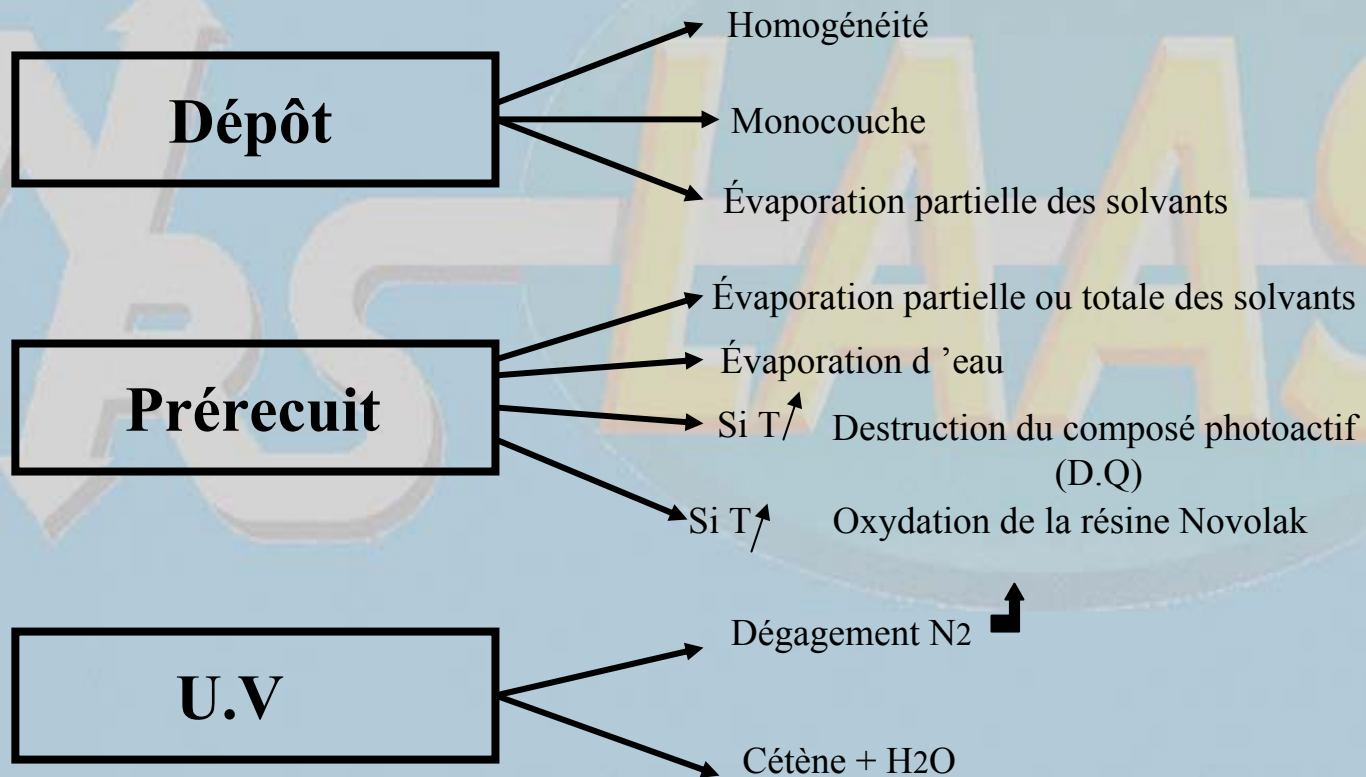


Variation of transmitted energy versus exposure time for 43 μm and 63 μm processes



Variation of transmitted energy versus exposure time for 3 mn, 4 mn and 6 mn prebake at 105°C (63 μm thickness)

ELEMENTS DU PROCEDE



ELEMENTS DU PROCEDE

Développement

Composé soluble

Influence de la T°

Durcissement

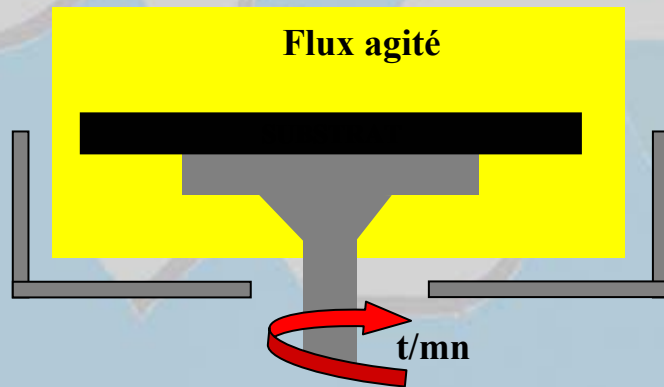
Résistance à la température

Résistance chimique

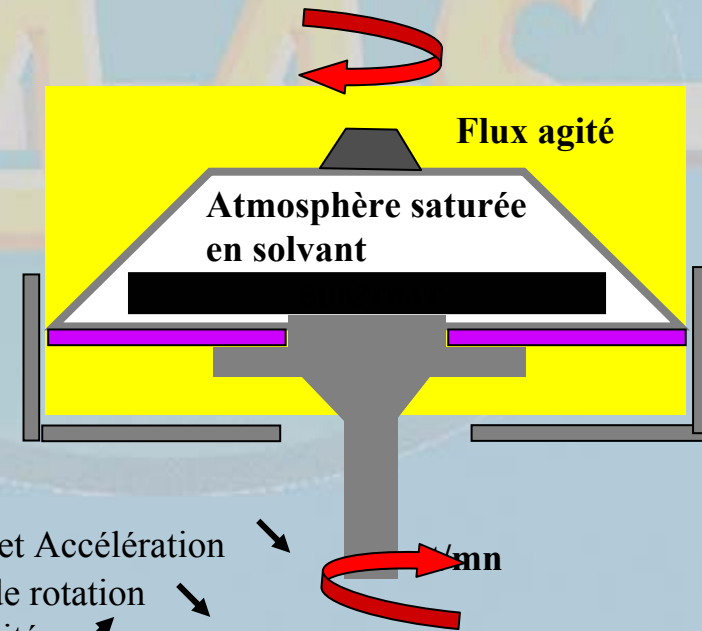
Résistance au bombardement ionique

DEPOT DE RESINE

TOURNETTE CONVENTIONNELLE

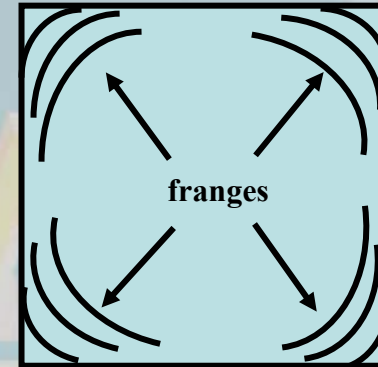
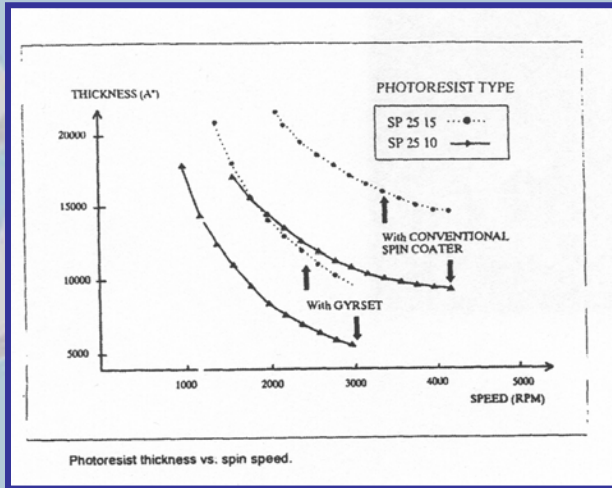


TOURNETTE GYRSET

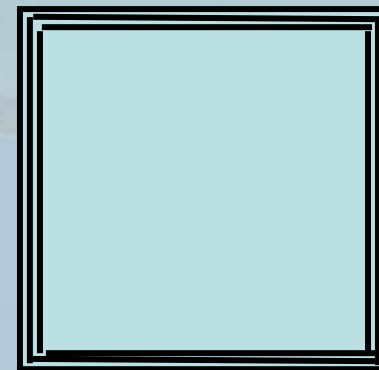
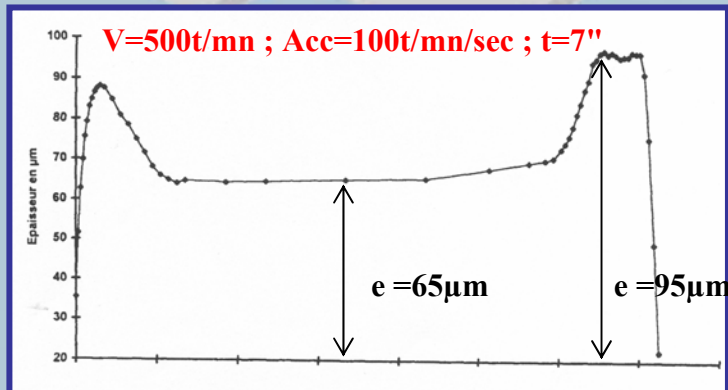


- Vitesse et Accélération
- Temps de rotation
- Uniformité
- Volume de résine

DEPOT DE RESINE



Tournette conventionnelle: dépôt non uniforme sur le pourtour du substrat



PRERECUIT

OBJECTIFS : - évaporation du solvant
- solidification du film
- meilleure adhérence

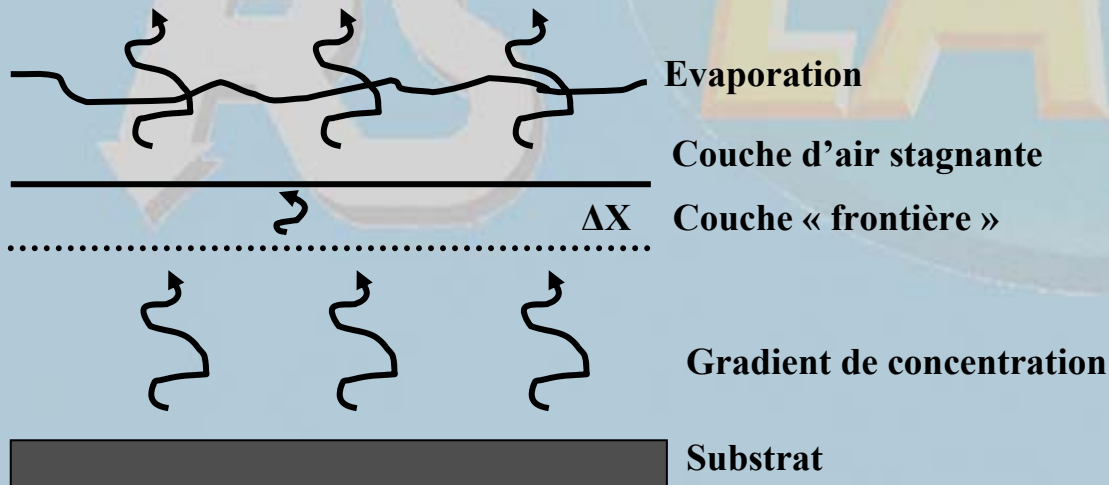
CINETIQUE : -Loi de fick

$$\text{Flux} = \text{g/cm}^2 \cdot \text{sec} = D \cdot \frac{dC}{dx}$$

D : coefficient de diffusion

C/X : gradient de concentration

-Vitesse d'évaporation $E_R = K P(M)^{1/2} / 2\pi RT$



Différentes étapes de diffusion du solvant dans le film et à la surface

V.Conédéra

PRERECUIT

EFFETS PARASITES :

• Si on chauffe la surface plus que le silicium → effet de profil inversé (lift off)

• Si la température est trop élevée :

- formation à la surface de composés insolubles, oxydés

→ dissolution lente de la résine

- le composé photoactif est instable au dessus de 70°C et se décompose :

. 70°C 2H → détruit 4% du composé

. 90°C 2H → tout le composé est détruit

- augmentation du temps de révélation

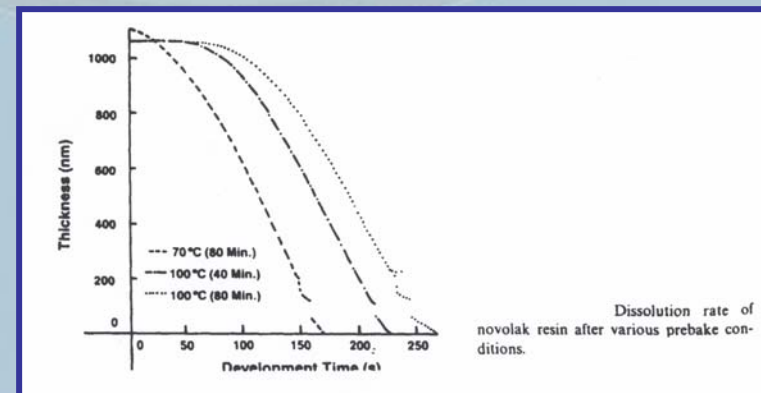
• Si la température est trop basse ou le temps insuffisant

→ Reste solvant → absorption importante

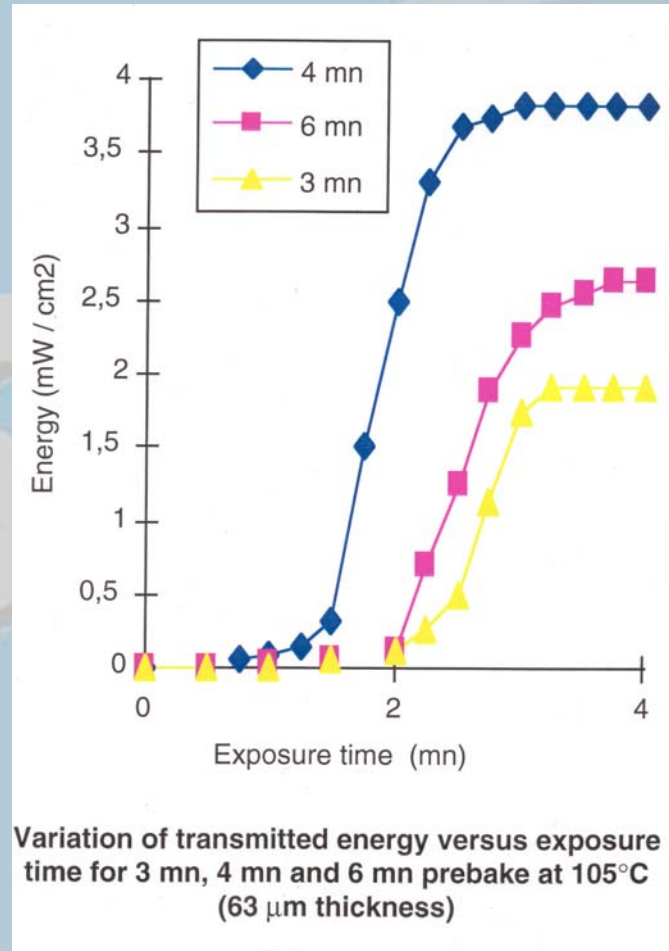
→ mauvaise photolyse

Vitesse de dissolution en fonction de différentes température

V. Conédéra

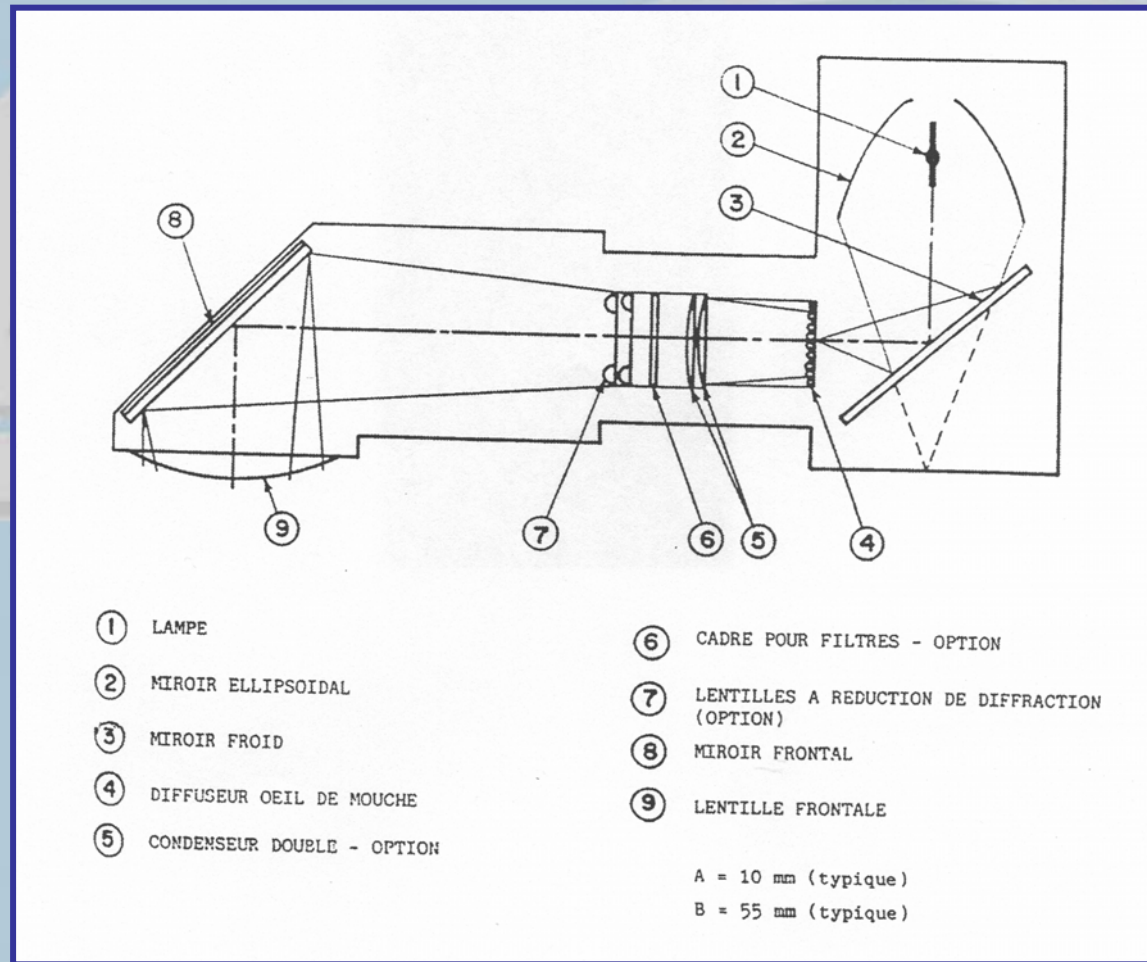


PRERECUIT

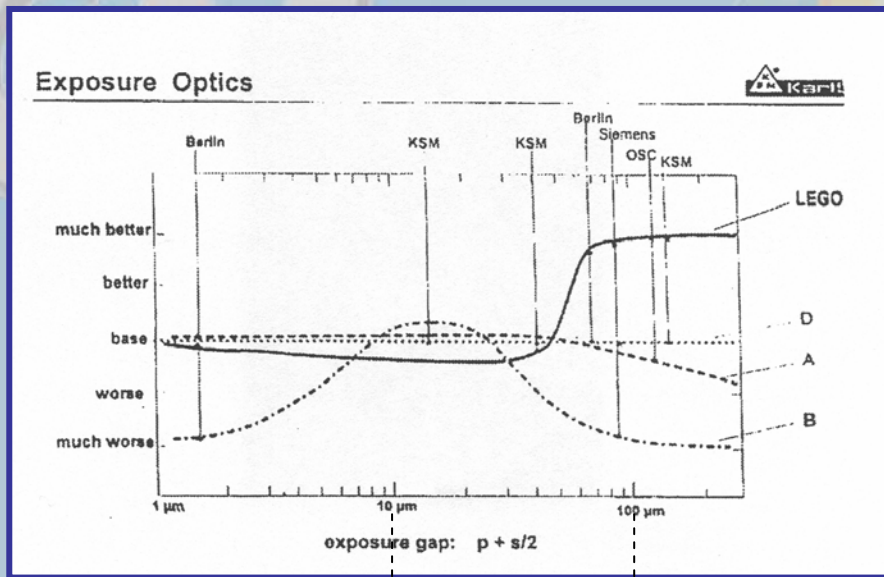


V.Conédéra

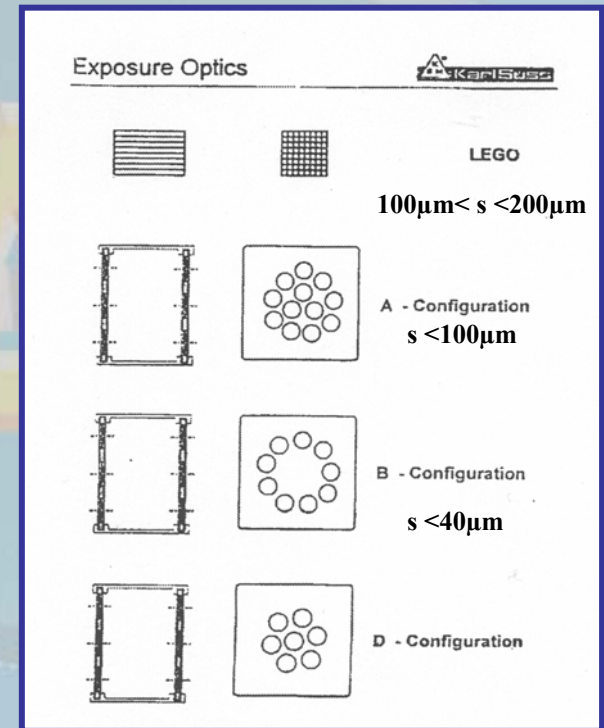
SYSTEME OPTIQUE D'INSOLATION



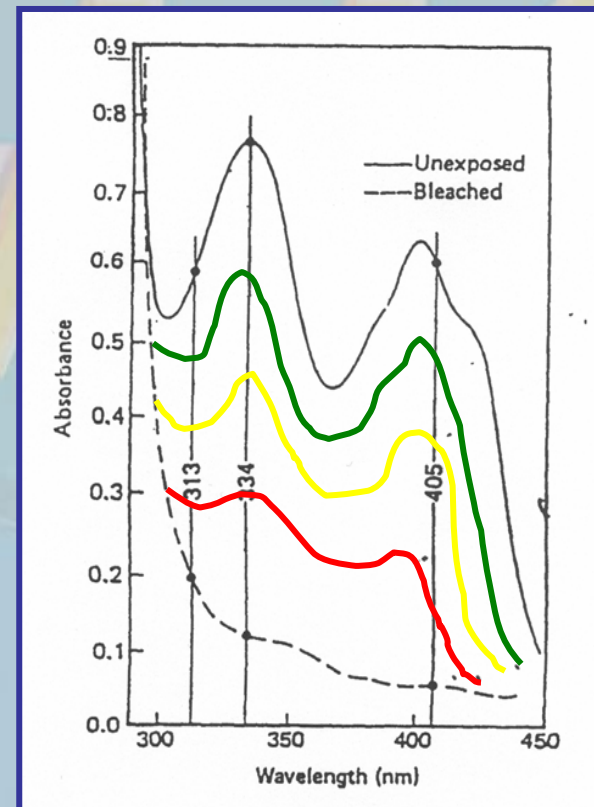
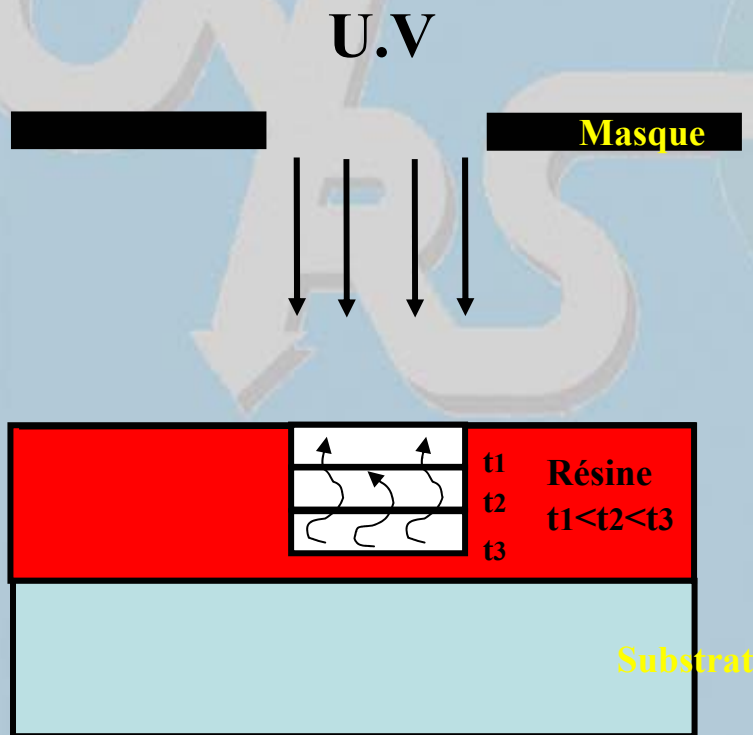
OPTIQUE



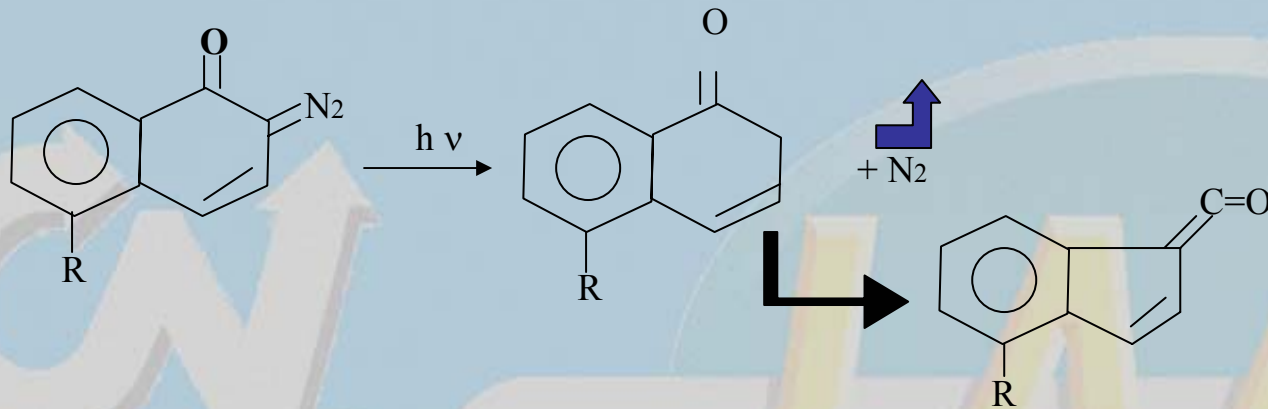
si $p=0\mu\text{m}$ $s \rightarrow 20\mu\text{m}$ 200μm



SYSTEME OPTIQUE D'INSOLATION



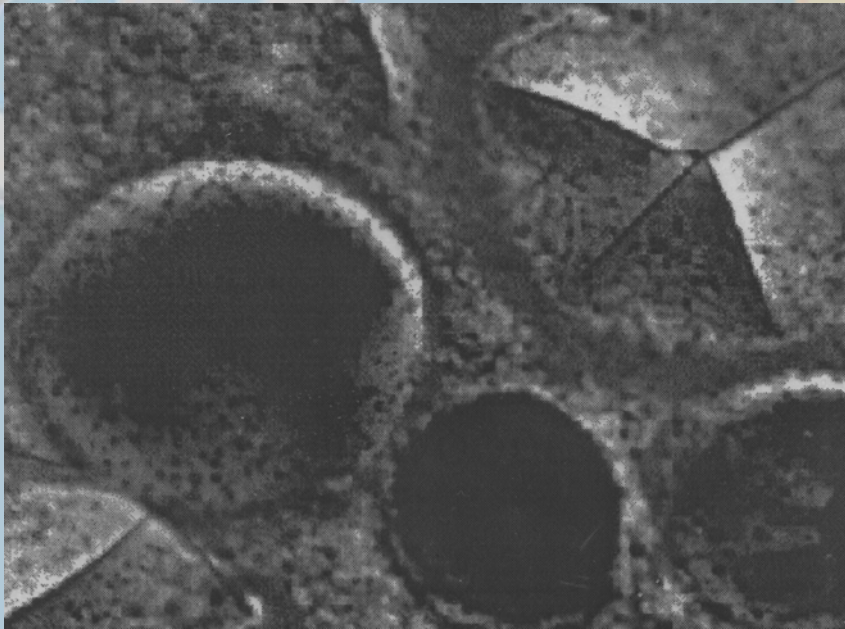
INSOLATION



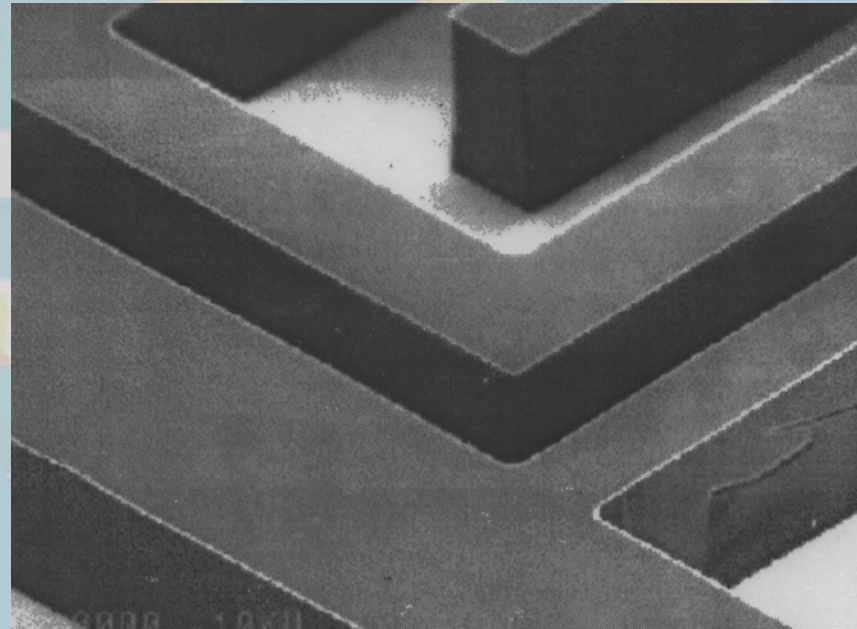
- le volume d'azote est estimé entre 8 à 12 fois le volume de photorésist.
- Inconvénient : mauvais contact entre le masque et la résine → diffraction.
- N₂ libéré provoque des microcanaux dans la région insolée → favorise la pénétration du révélateur.
- Contrôle du temps d'insolation.

DEFAULTS PROVOQUES PAR N₂

VERRE - ZONE INSOLEE

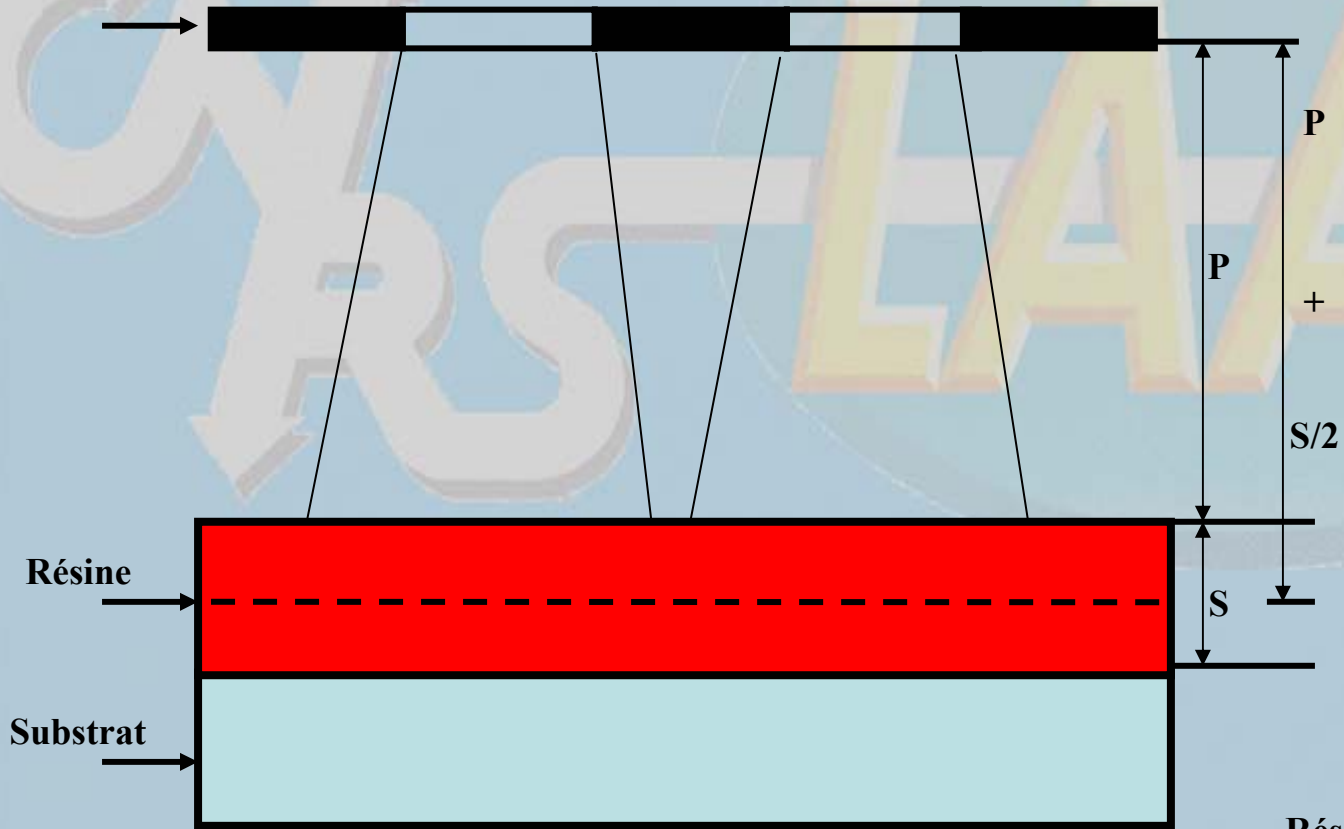


RESINE - ZONE NON INSOLEE



OPTIQUE

RESOLUTION EN PROXIMITE



V.Conédéra

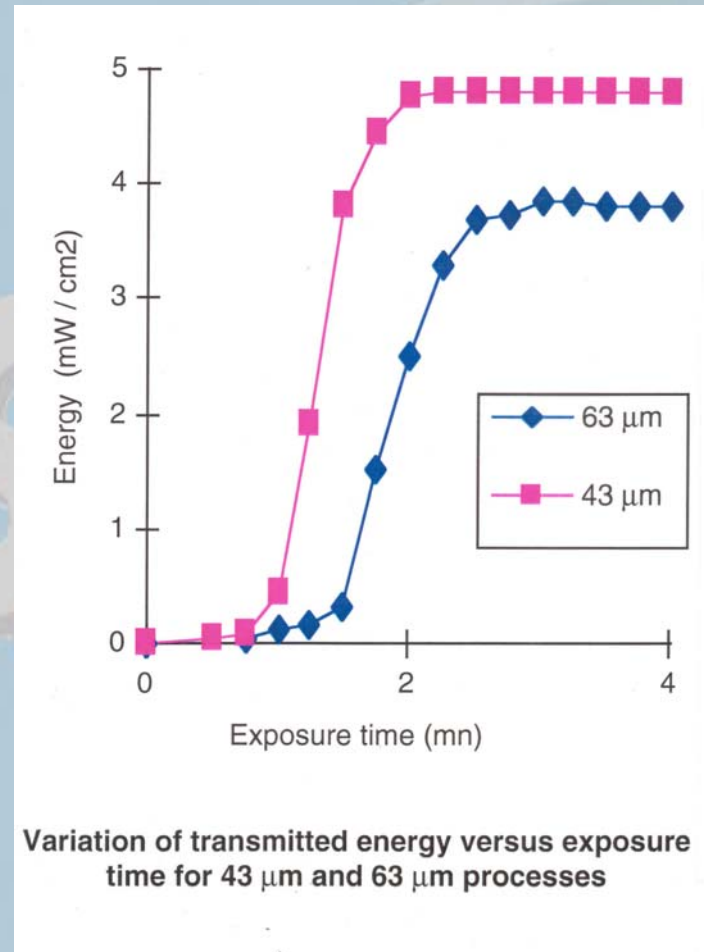
$$\text{Résolution} = \frac{3}{2} \sqrt{\lambda \left[P + \frac{S}{2} \right]}$$

OPTIQUE

VARIATION DE LA RESOLUTION EN FONCTION DE L'ÉPAISSEUR S ET DE LA PROXIMITÉ P

S	P								
	0	5	10	15	20	30	40	50	60
10 μ m	2.1	3	3.7	4.2	4.7	5.6	6.4	7	7.6
20 μ m	3	3.7	4.2	4.7	5.2	6	6.7	7.3	8
30 μ m	3.7	4.2	4.7	5.2	6	6.7	7.3	8	8.2
40 μ m	4.2	4.7	5.2	5.6	6	6.7	7.3	8	8.5
50 μ m	4.7	5.2	5.6	6	6.3	7	7.6	8.2	8.7
60 μ m	5.2	5.6	6	6.3	6.7	7.3	7.9	8.4	9
70 μ m	5.6	6	6.3	6.7	7	7.6	8.2	8.7	9.2
100 μ m	6.7	7	7.3	7.6	8	8.4	9	9.5	10

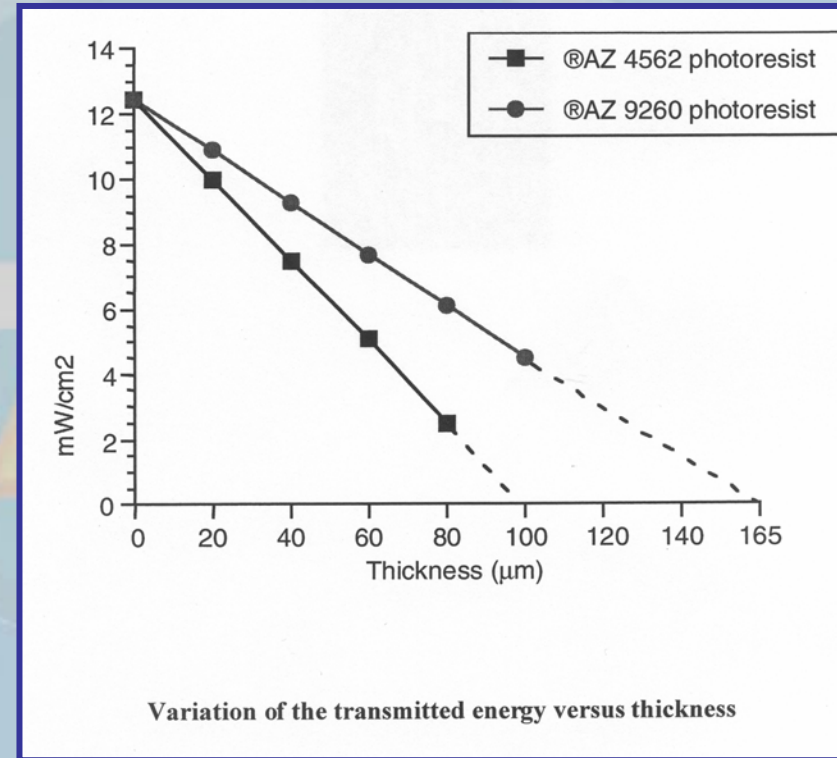
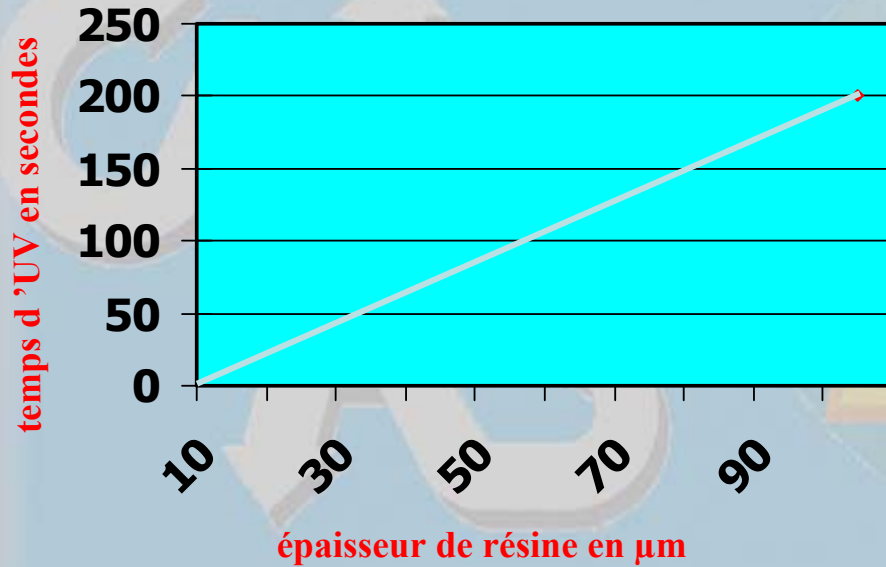
OPTIQUE



V.Conédéra

OPTIQUE

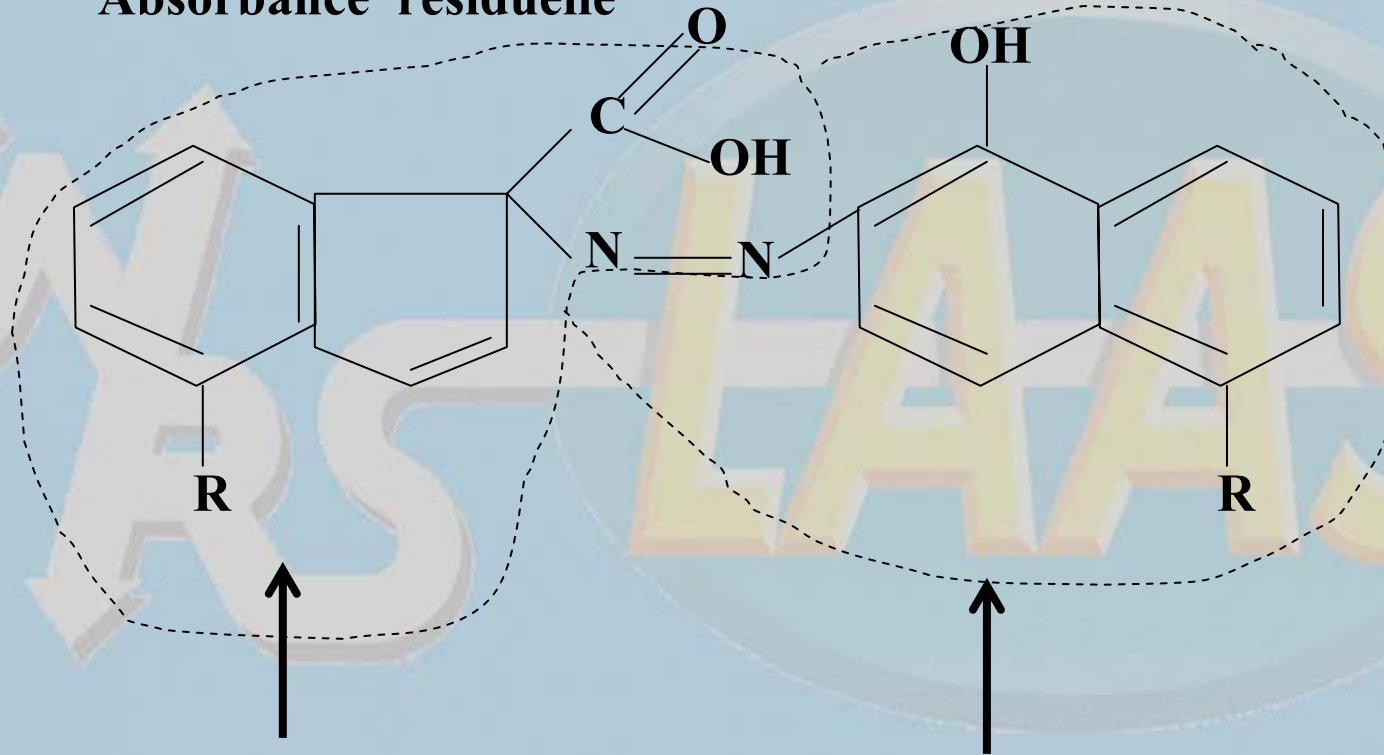
Variation du temps d'insolation en fonction de l'épaisseur



Variation of the transmitted energy versus thickness

INSOLATION

Absorbance résiduelle



Acide indénique

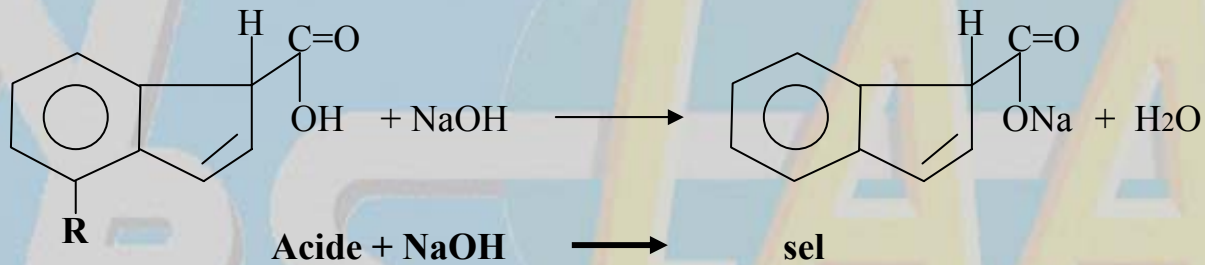
Diazoquinone

L'absorbance résiduelle est due à la formation d'un complexe
Acide indénique- Diazoquinone

V.Conédéra

REVELATION

ACTION DU REVELATEUR SUR LES PARTIES INSOLEES

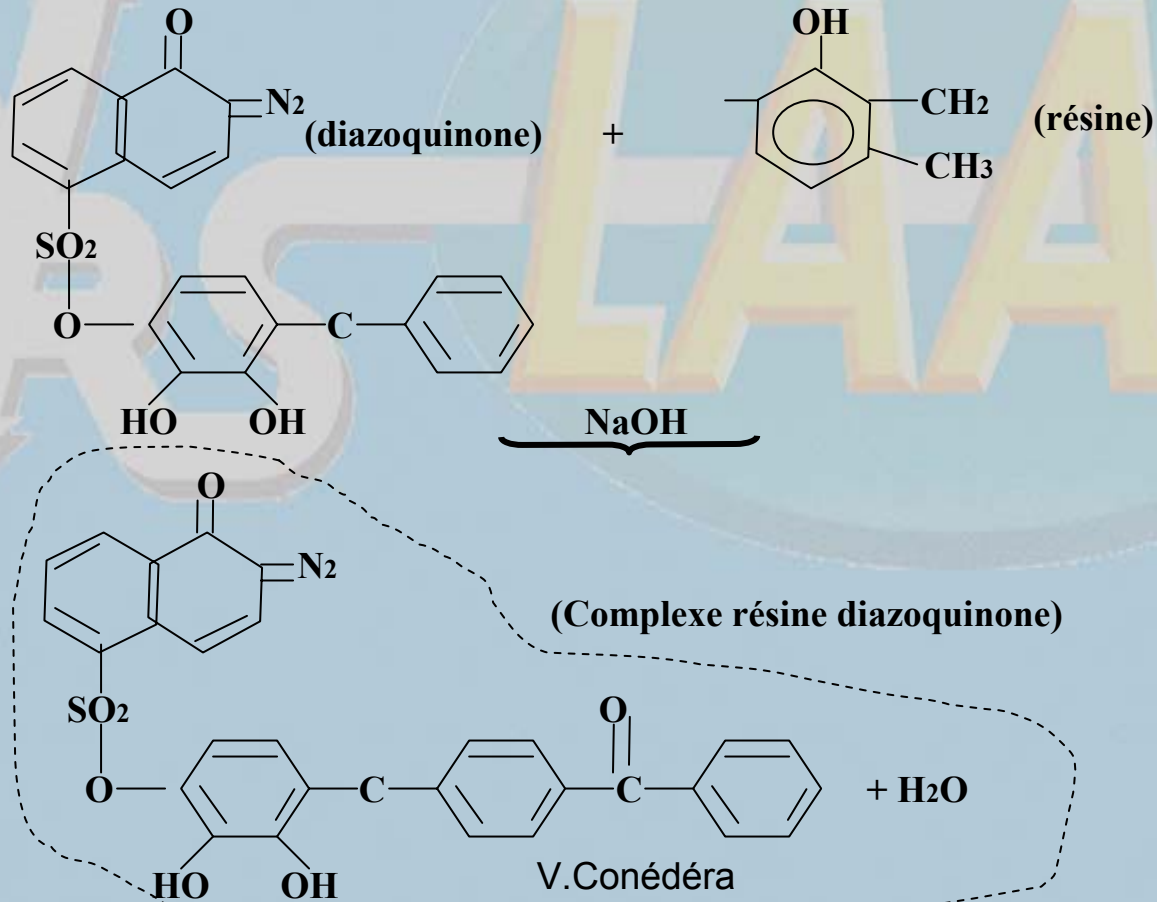


Formation d'un sel soluble

REVELATION

ACTION DU REVELATEUR SUR LES PARTIES NON INSOLEES

→ POLYMERE INHIBITEUR



REVELATION

VARIATION DE LA VITESSE DE REVELATION AVEC T

$$D = D_0 \cdot \exp(-\Delta E/kt)$$

D: vitesse de diffusion du révélateur

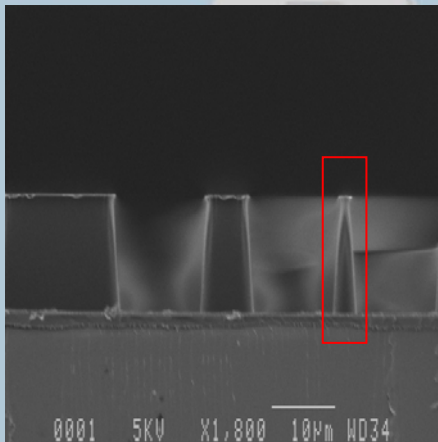
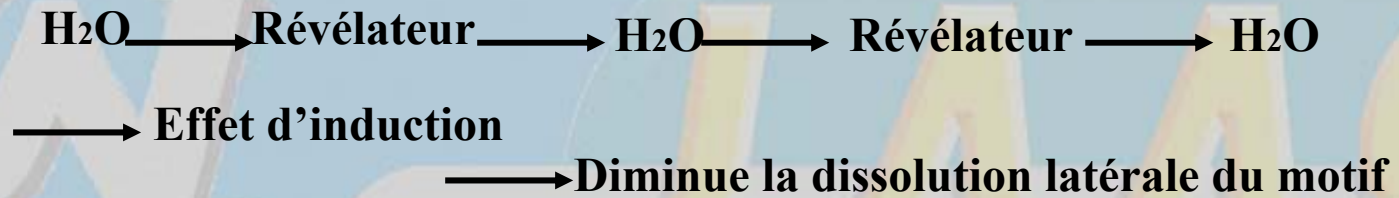
Pour une énergie de 10Kcal/mole, 1°C de variation de T
→ 20% variation de la vitesse de diffusion

VARIATIONS DE LA VITESSE DE REVELATION

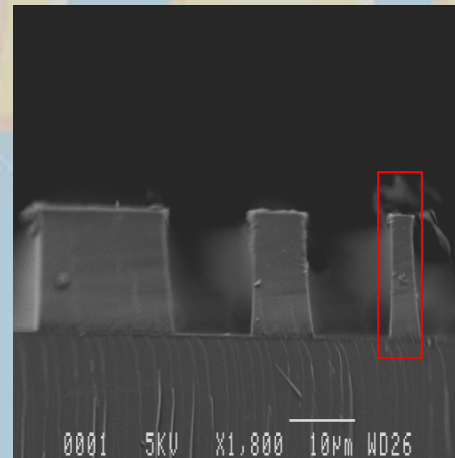
- Température de prérecuit: si T ↗ tr ↗ (tr: temps de révélation)
- Concentration du révélateur: si C ↗ tr ↗
- Taux d'humidité: RH ↗ tr ↘
- Taux d'oxydation: TO₂ ↗ tr ↗
- Epaisseur : E ↗ tr ↗

REVELATION

REVELATION ALTERNEE



Révélation continue



Révélation alternée
rinçage H_2O toutes les 10 "

REVELATION

SURFACTANT (céthyltriméthylammonium tosylate [6])



Dépôt de résine- Prérecuit



Exposition



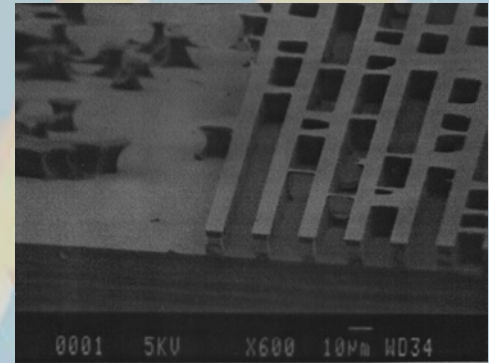
Traitement par le surfactant



Rinçage



Développement

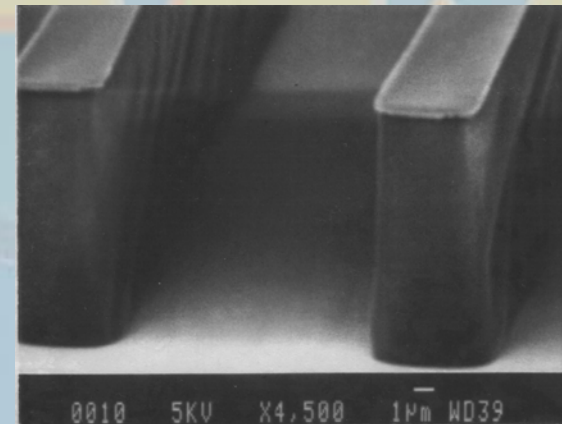
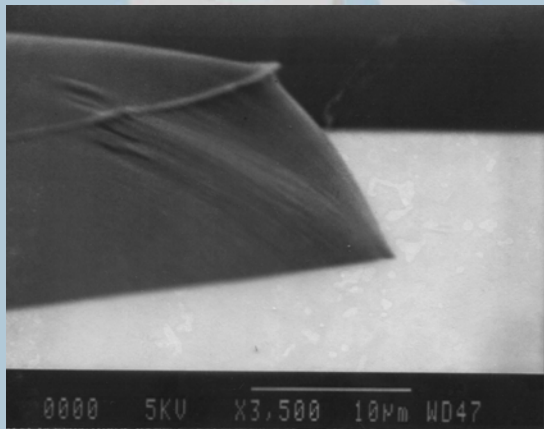


DURCISSEMENT

THERMIQUE

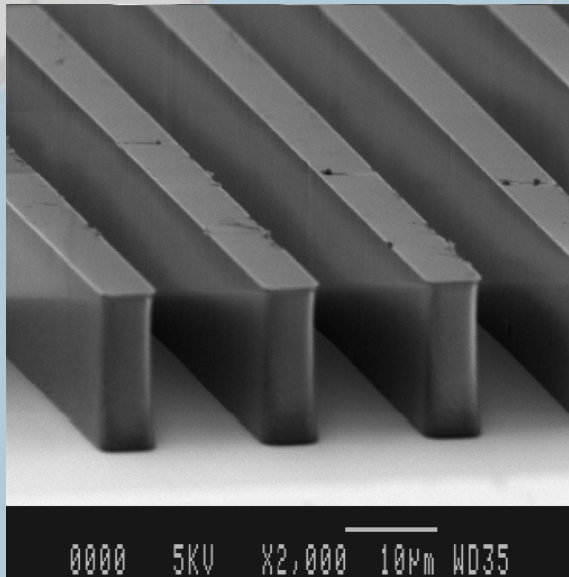
Chauffage 110°-120°c sur plaque chauffante

- formation d'une croûte d'oxyde
- déformation des profils

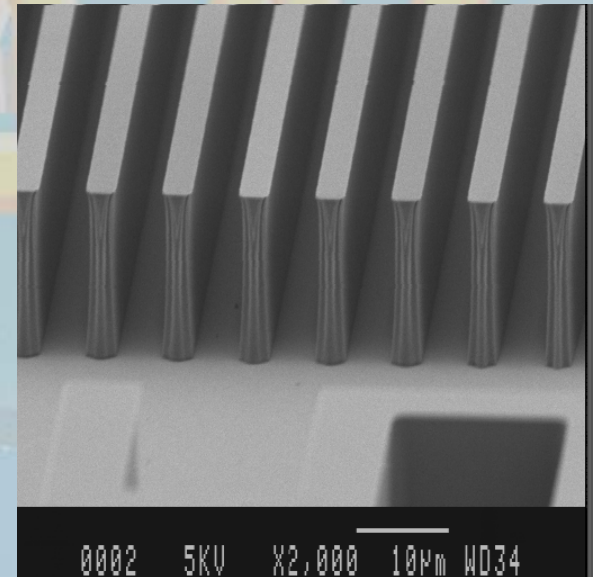


PROCEDES

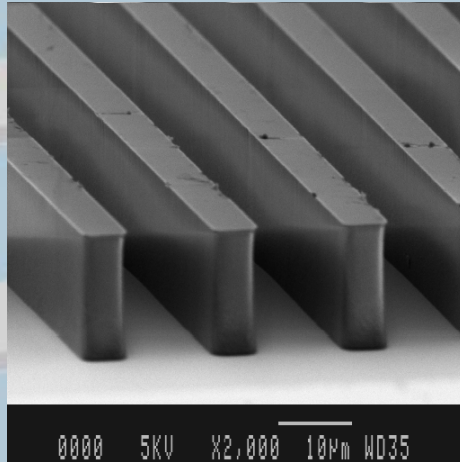
Procédé avec PEB



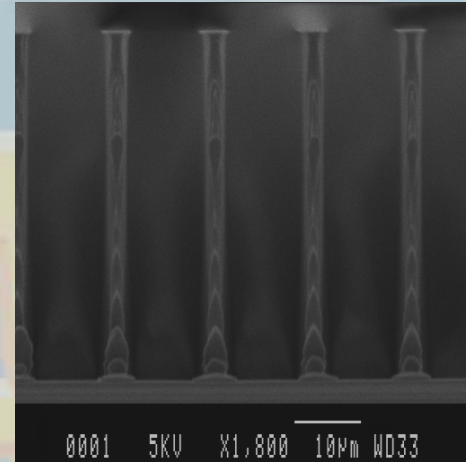
Procédé sans PEB



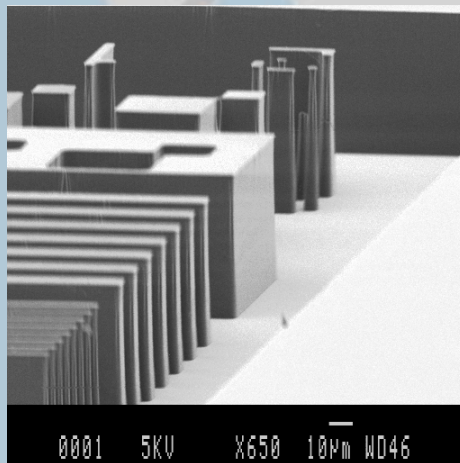
RESINE POSITIVE AZ 9260



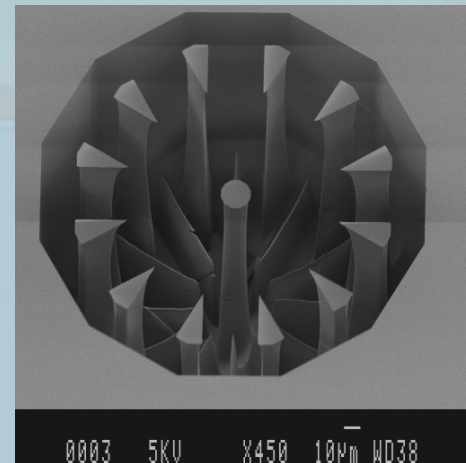
e=16µm



e=50µm



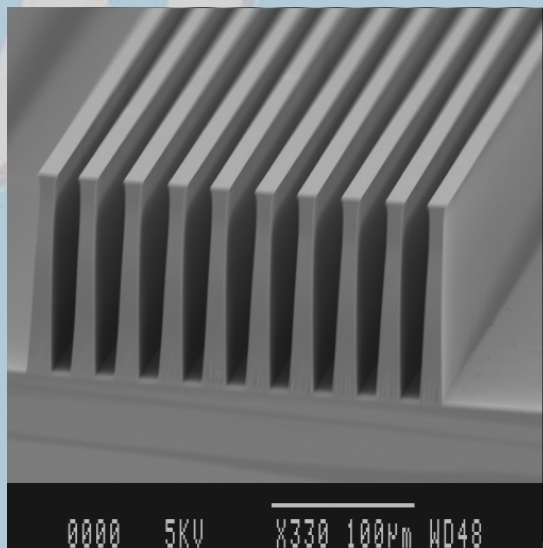
e=70µm



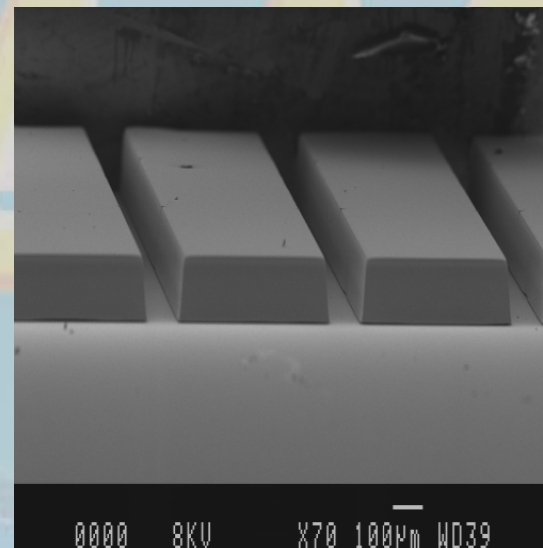
e=100µm

V.Conédéra

RESINE POSITIVE

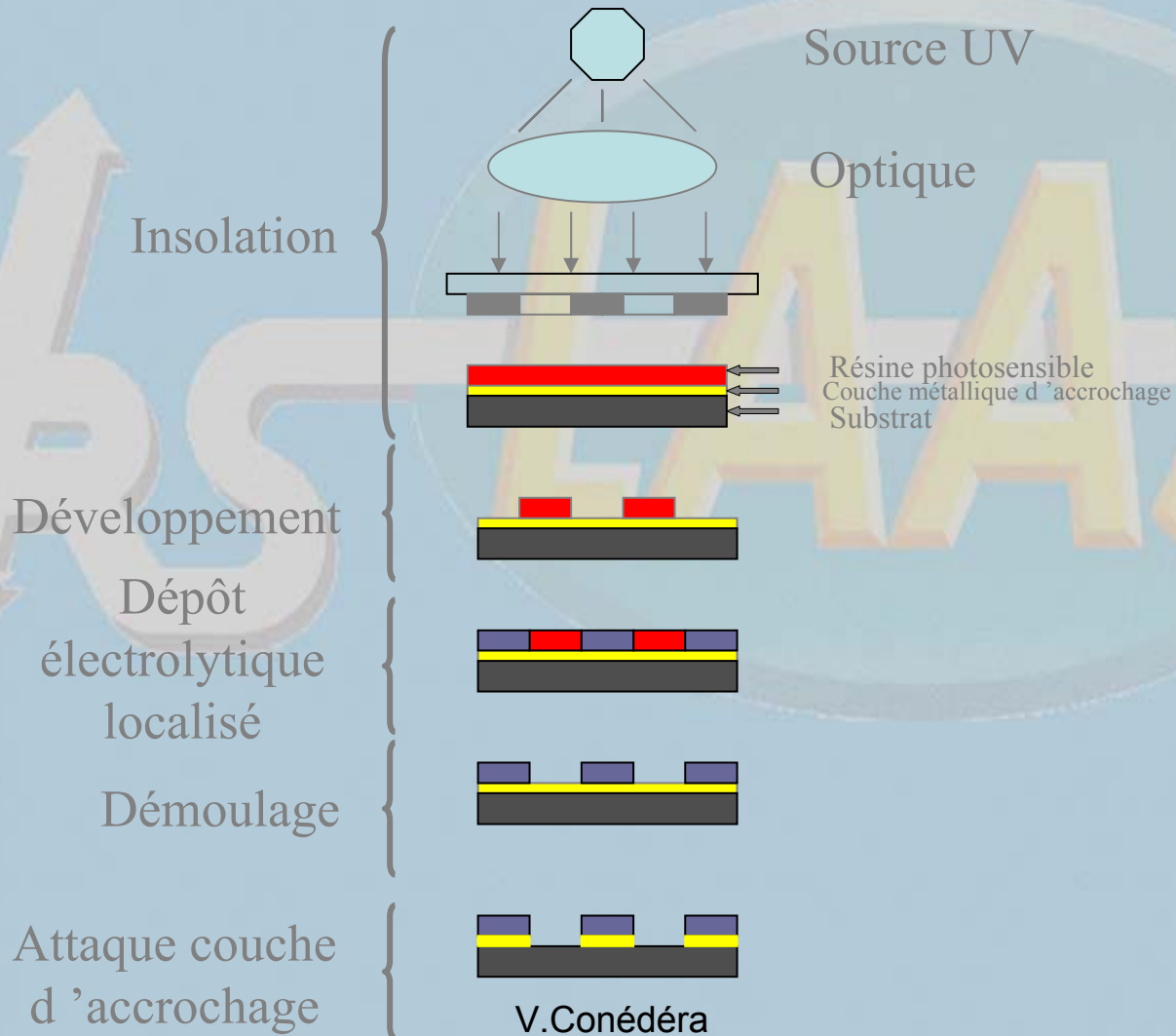


AZ 9260
e=100µm

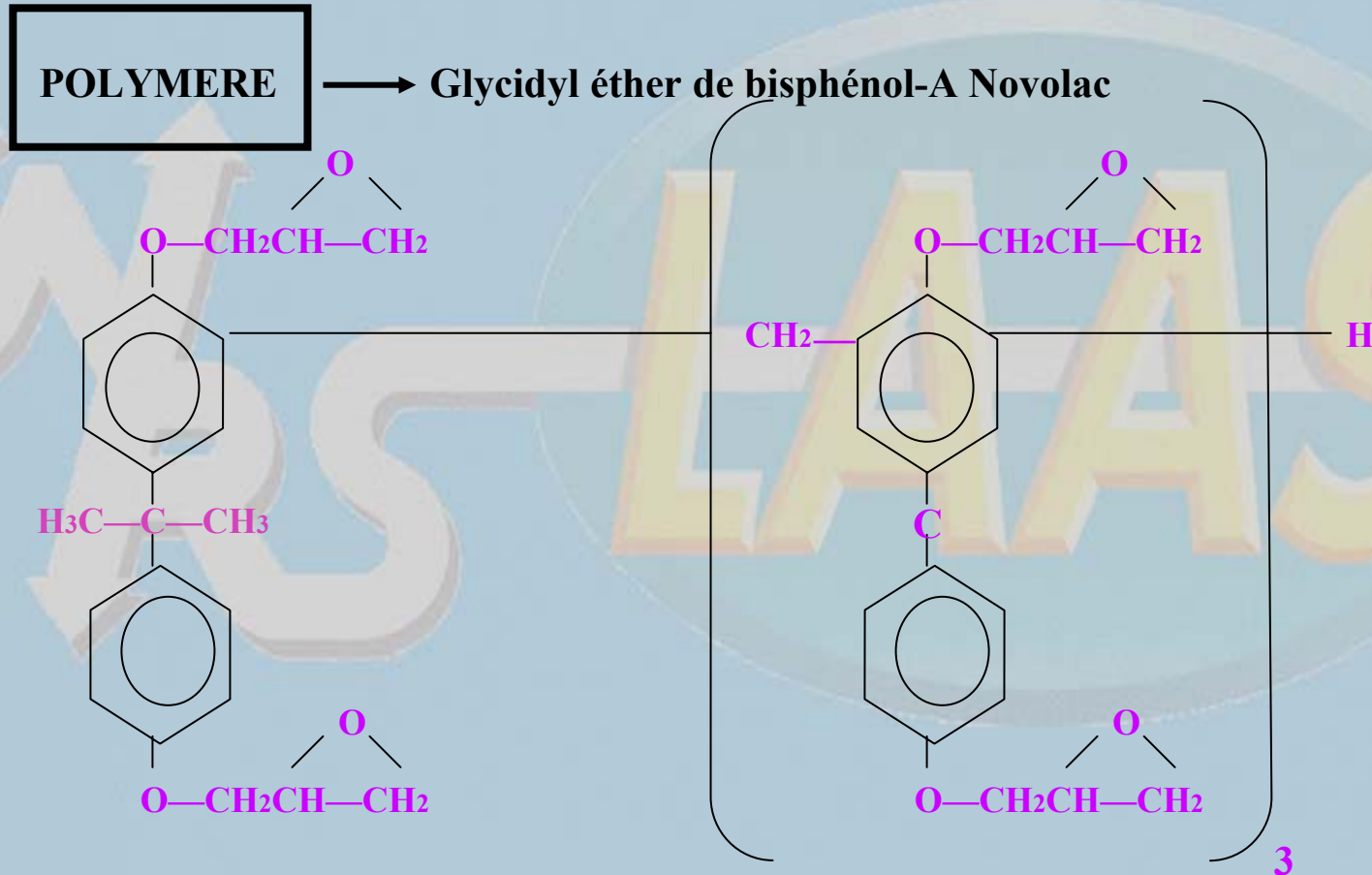


PLP 100 XT
e=150µm

TECHNIQUES DE FABRICATION DE MICROOBJETS PR<0



COMPOSITION DE LA RESINE EPON SU8 [7]



COMPOSE PHOTOACTIF

→ Triaryl Sulfonium

SOLVANT

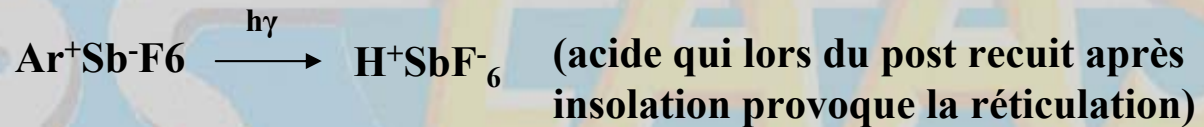
→ γ- butyrolactone (GBL)
cyclopentanone (série flex)

COMPOSITION DE LA RESINE EPON SU8 [7]

POLYMERE —→ Propriété de l'époxyde

CATALYSEUR —→ Acide fort, généré par photolyse d'un sel de triary
Sulfonium mélangé à un hexafluoroantimoniate

$\text{Ar}^+\text{Sb}^-\text{F}_6$ où Ar mélange Aryle sulfonium

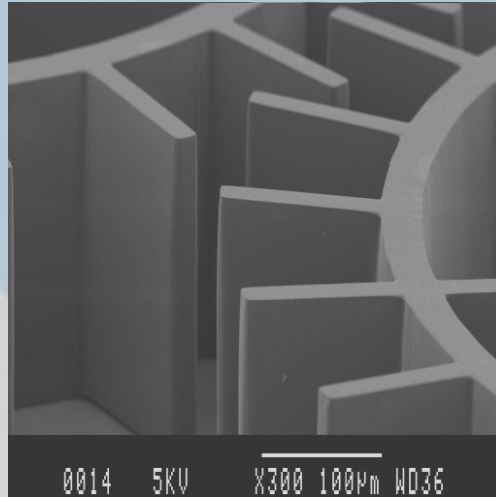


SOLVANT —→ Différentes viscosités: 100cst à 1400 cst

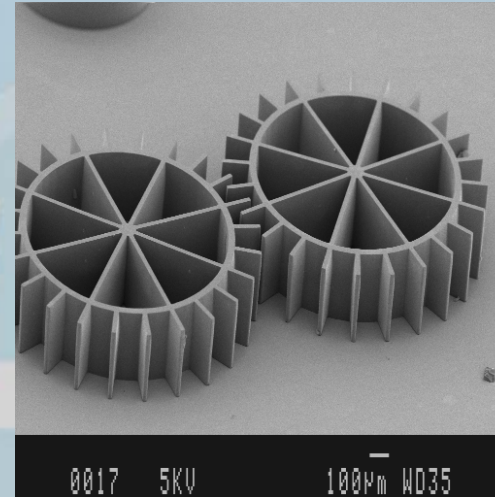
Domaines d'application: -la micro optique [8]
- les micro moteurs [9]
- la micro fluidique
- les micro inductances [10]

RESINE SU8

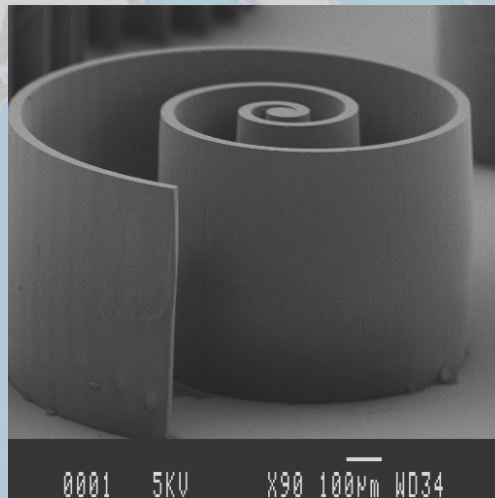
E=200 μ m



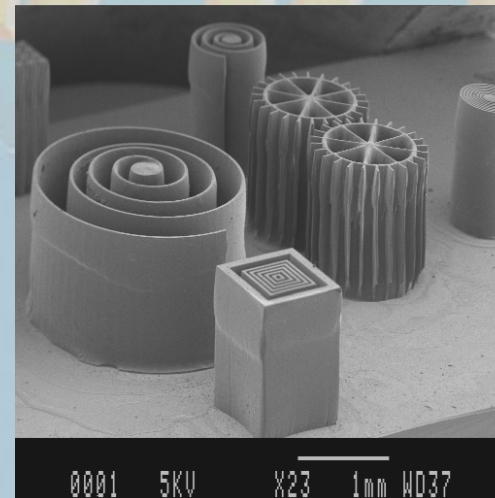
E=300 μ m



E=500 μ m



E=1,2mm



V.Conédéra

RESINE SU8

SU8 2050 pour une épaisseur de 100 μ m

- dépôt en tournette: vitesse = 1500t/mn acc= 300t/mn/sec temps= 30 sec
- recuit sur plaque chauffante : 3' à 65°C+ / 95°C + 12 'à 95°C+ \ 25°C
- exposition aux UV à puissance incidente 10 mw/cm² λ =365nm pendant 60sec
- recuit sur plaque chauffante à 1' à 65°C+ / 95°C + 10 'à 95°C+ \ 25°C
- développement 1' dans propanédiol glycol monométhyl éther acétate
- post recuit sur plaque chauffante: 1' à 65°C+ / 110°C + 1 'à 110°C+ \ 25°C

RESINE PHOTOSENSIBLE POSITIVE ELECTRODEPOSEE

- * Film positif photosensible déposé par électrolyse sur des substrats conducteurs

- * Epaisseur obtenue $< 10\mu\text{m}$

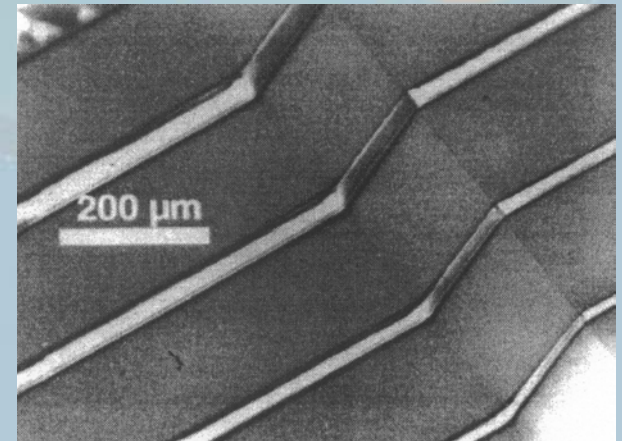
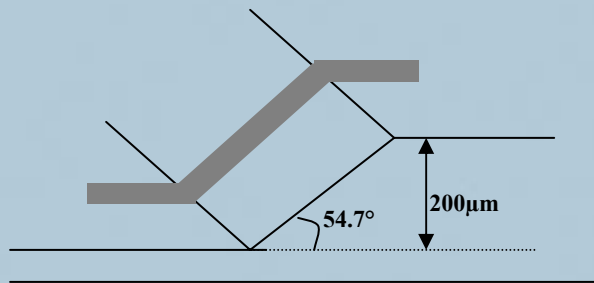
- * Résolution inférieure à $25\mu\text{m}$

- * Excellente uniformité d'épaisseur

- * Excellente adhérence

PRINCIPAL AVANTAGE

- * Excellent recouvrement de marche jusqu'à $200\mu\text{m}$



V.Conédéra

MISE EN ŒUVRE (Résine PEPR 2400 SHIPLEY)

PREPARATION
DU SUBSTRAT

CLEANER 742

← élimination des graisses
sur cuivre

RINCAGE

PREPOSIT ETCH 748

← élimination
des oxydes

RINCAGE

**PEPR 2400
RESINE PHOTOSENSIBLE**

DEPOT DE
LA RESINE

RINCAGE PERMEAT

RINCAGE FINAL

SECHAGE

EXPOSITION

← $320\text{nm} < \lambda < 440\text{nm}$

DEVELOPPEMENT

v. Concéra

← Solution 1% carbonate
de sodium

LA STEREOLITHOGRAPHIE

—> **Technique qui permet de réaliser des objets complexes en 3D**

—> **Prototype réalisés dans les domaines:**

.microfluidique

.microrobotique

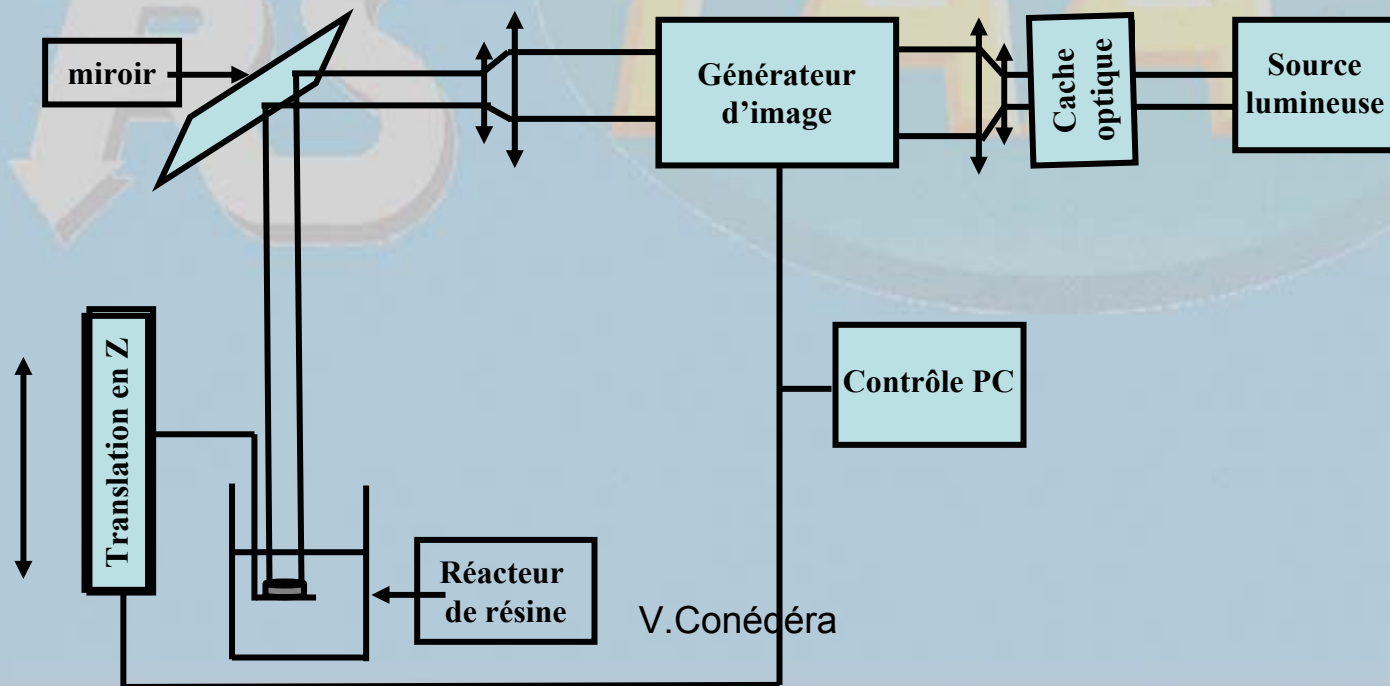
.applications d'assemblages 3D

.biomédical

LA STEREO LITHOGRAPHIE

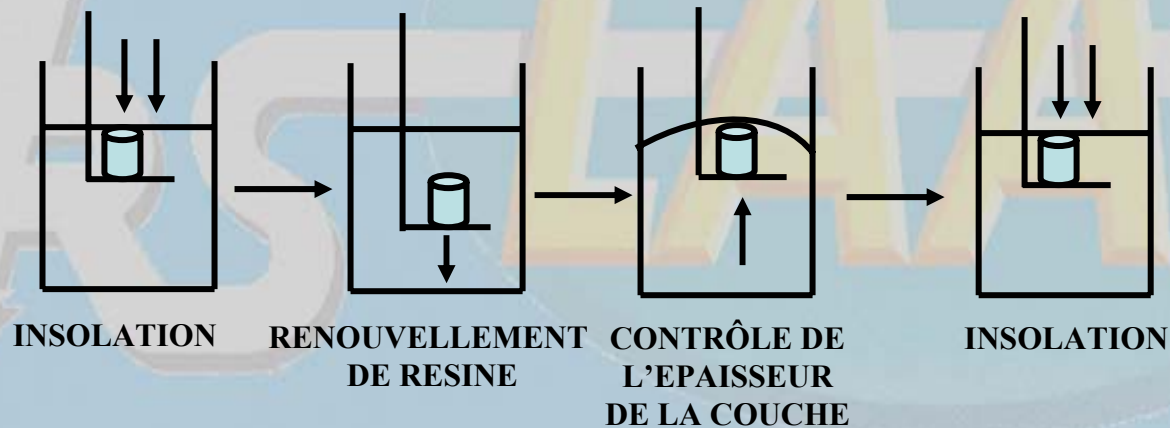
PRINCIPE

→ Polymérisation d'une résine liquide « couche à couche » par une source lumineuse; sous l'action d'un rayonnement lumineux, une couche de résine liquide monomère se transforme en une couche solide polymère



LA STEREOLITHOGRAPHIE

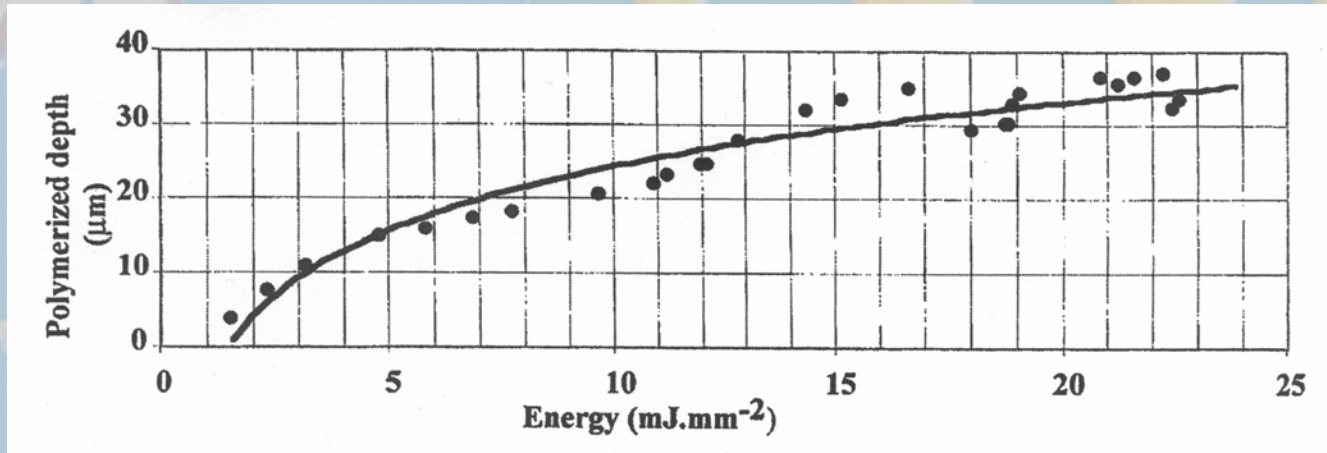
Cycle de l'empilement des couches



LA STEREOOLITHOGRAPHIE

Paramètres importants

—→ Le temps d'exposition et la puissance déterminent la résolution spatiale

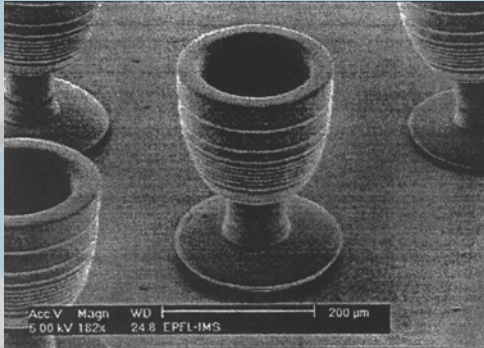


—→ Epaisseur de résine minimale insolée : 5μm

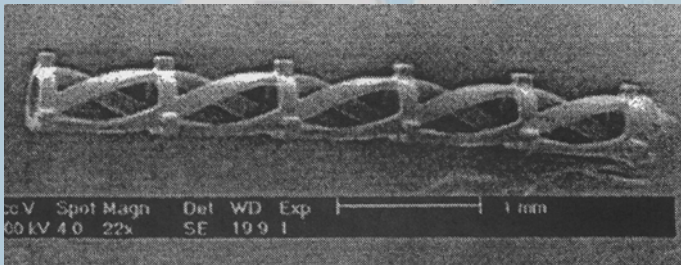
—→ Résolution en largeur de ligne : 3μm

LA STEREOLITHOGRAPHIE

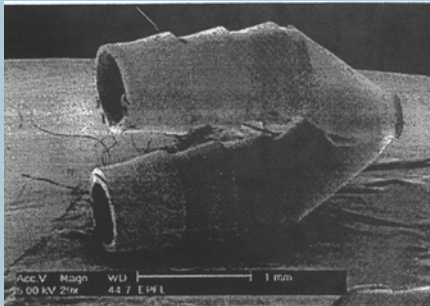
EXEMPLES D'OBJETS REALISES



Microcoupelle
80 couches x 5µm
épaisseur des murs : 25µm



Microressort
1000 couches x 5µm
longueur totale : 500µm
temps de réalisation : 5 heures



Microcanalisation
700 couches x 5µm
ø=500µm

PUBLICATIONS

- [1] Endo M., Sasago M., Matsuoka K. and Numora N., "High-aspect-ratio resist pattern fabrication by alkaline surface treatment", *J. Vac. Sci. Tech.*, B7, 5, Sept.-Oct. 1989.
- [2] Conédéra V., Fabre N., Dilhan M., "A Simple Optical System to Optimize a high Depth to width Aspect Ratio Applied to a positive Photoresist Lithography Process", *J. of Micromech.*, Sept. 1997.
- [3] Dumange D., Lecarpentier G., "GIRSET, a simple But Revolutionary Spin Coat Concept", *Suss Report*, vol. 8, 1994.
- [4] Fabre N., Conédéra V., "Contrôles de paramètres technologiques dans la mise en œuvre de moules de résine photosensible de grande épaisseur par la mesure de transparence", *Journée Microsystèmes du CNRS*, Paris, nov. 1999
- [5] Moreau M.W., Chong K.G., Petrielo K., Hohn F.J., Wilson A.D.J., *Vac. Sc. Techn.*, B6, 2238, 1988
- [6]. Mc Kean D.R., Russels T.P., William P., Hinberg D., Hofer D., Renaldo A.F. and Willson C.G., "Thick Film positive Photoresist : Developpement and Resolution Enhancement Technique", *J. Vac. Sci. Techno. B.*, 13, 6, nov.-déc. 1995.
- [7] Lee K.Y., La Bianca N., Rishton S.A., Zolgharnain S., Gelorme J.D., Show., T.H.P. Chang, "Micromachining applications of a high resolution ultrathick photoresist", *J. Vac. Sc. Technol. B.* 13 (6), Nov/Dec 1995.
- [8] Hagerhorst-Trewella J., Gelorme J.D., Fan J.D., Speth B., Flagello A., Oprysko D.G., "MM. Polymeric optical waveguides", *SPIE*, vol 1777, 379, 86, 1989
- [9] Acosta R.E., Ahn C., Babich I.V., Cooper F.I., Cotte J.M., Horkans W.J., Jahnes C., Krongelb S., Kwietniak K.T., La Bianca N.C., O'Sullivan E.J.M., "Integrated Variable Reluctance Magnetic Mini-Motors", *Proceedings of the Fourth International Symposium on Magnetic Materials, Process and Device*, Oct. 8-13, 1995.
- [10] Dellmann L., Roth S., Beuret C., Racine G.A., Lorentz H., Despont M., Renaud P., Vettiger P., de Rooij N.F., "Fabrication process of high aspect ratio elastic and SU8-8 structures for piezoelectric motor application", *Sensors and Actuators. A70*, 1998, p. 42-47.
- [11] La Bianca N., Gelorme J.D., "High aspect ratio resist for thick film applications", *SPIE*, vol. 2438, March 95