



PROPRIETES SUPERFICIELLES ET INTERFACIALES DES LIANTS

Didier Lesueur

Montréal, 16 novembre 2005

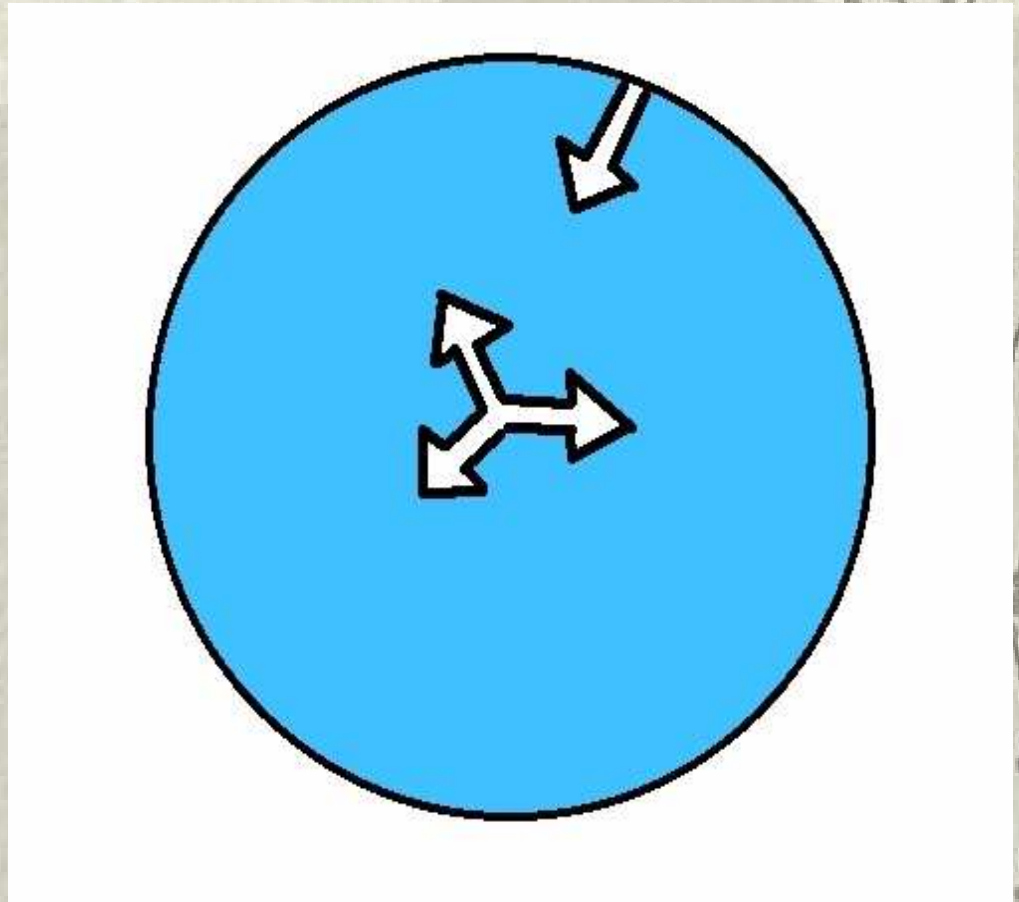
Les Propriétés Superficielles et Interfaciales des Liants

- ❖ Surfaces et interfaces
- ❖ Caractérisation des interfaces
- ❖ Adhésion (active) bitume granulat
- ❖ Adhésion (passive) bitume granulat en présence d'eau
- ❖ Mesures préventives et curatives

Tension Superficielle

**TENSION
SUPERFICIELLE γ**

$$dW = \gamma dA$$



Tension Superficielle Liquides

	γ $\text{mJ/m}^2 = \text{mN/m}$
Mercure	485
Eau	73
Benzène	29
Octane	22
Bitume	27–30

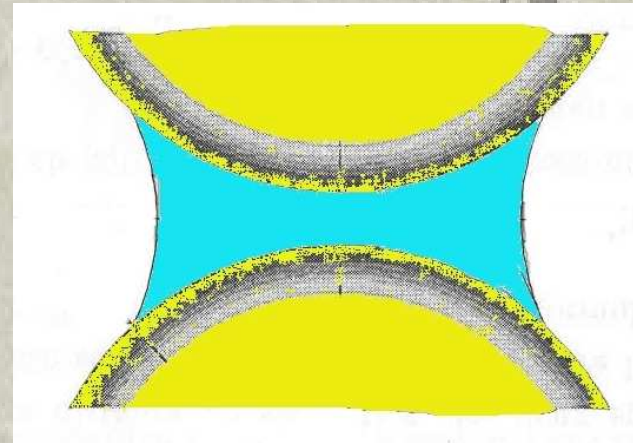
Tension Superficielle

- ❖ Forces très faibles
- ❖ Poids supérieur pour $d > 1$ mm



Tension Superficielle

- ❖ Cohésion du chateau de sable (petits grains $< 1\text{ mm}$)



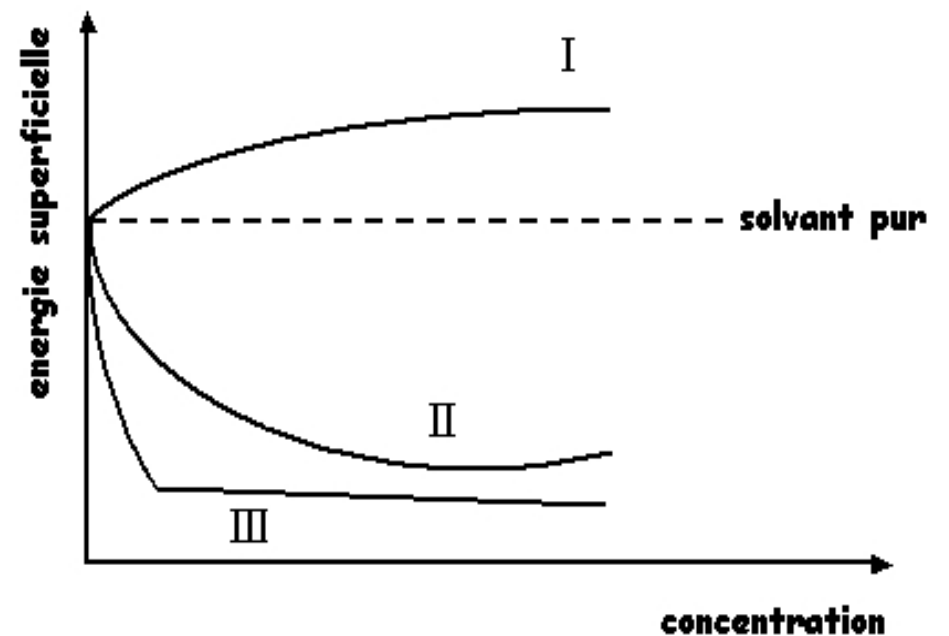
Tension Superficielle

- ❖ liquides
 - ❖ sphérique si < 1 mm (la tension superficielle l'emporte)
 - ❖ forme du conteneur pour > 1 mm (le poids l'emporte)



Solutés

		<i>Dans l'eau</i>
I	Lyophile	Sel de cuisine
II	Lyophobe	Ammoniaque, Acétone
III	Tensioactifs	Savons, Détergents



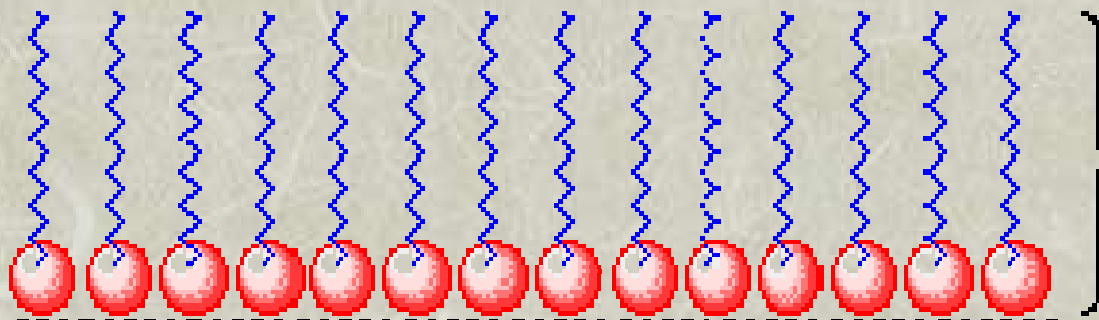
Tensioactifs



Partie Hydrophile

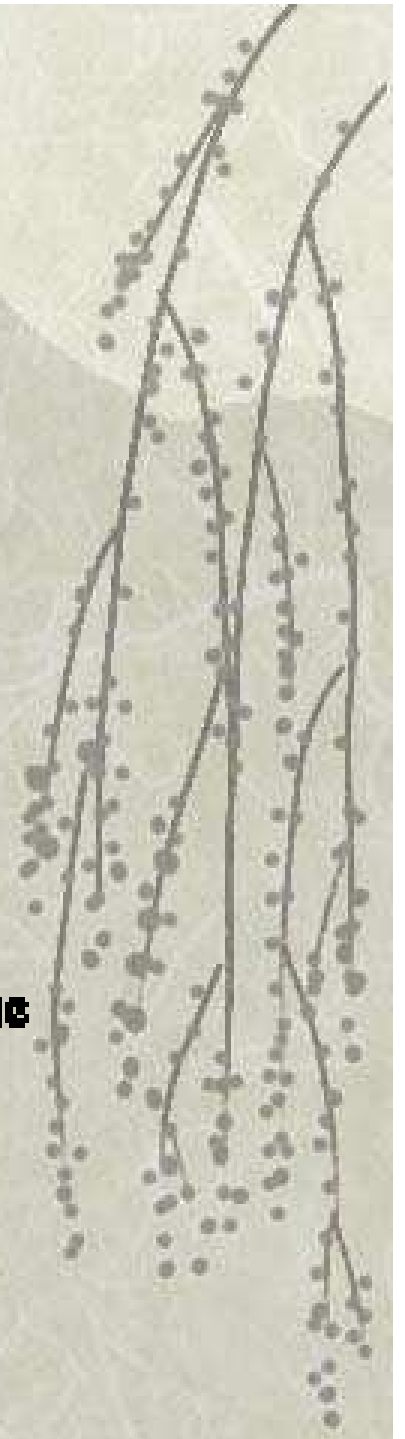
Partie Hydrophobe

Air



Monocouche

Eau



Tension Superficielle Solides

	γ $\text{mJ/m}^2 = \text{mN/m}$
Métaux	500–4000
Chaux	820
Magnésie	1090
Granulats	130–260
Verre	1210
Cires	42
PE	33–36
PMMA	41
PTFE	22

Tension Superficielle

- ❖ Solides

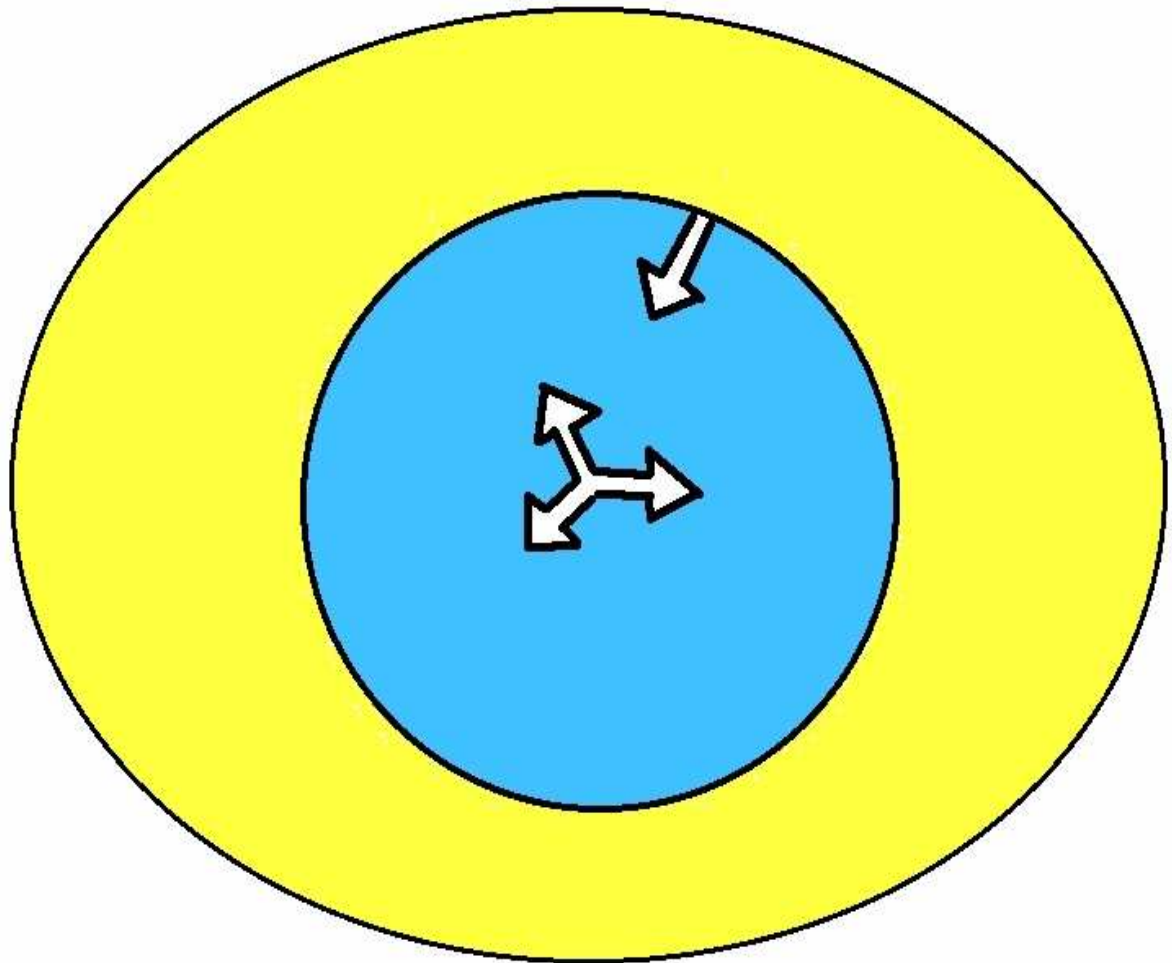
- ❖ en général, forces de cohésion (module)
>> tension superficielle
- ❖ la forme n'est pas gouvernée par le poids ni la surface

Tension Interfaciale

**TENSION
INTERFACIALE**

$$\gamma_{12}$$

$$dW = \gamma_{12}dA$$



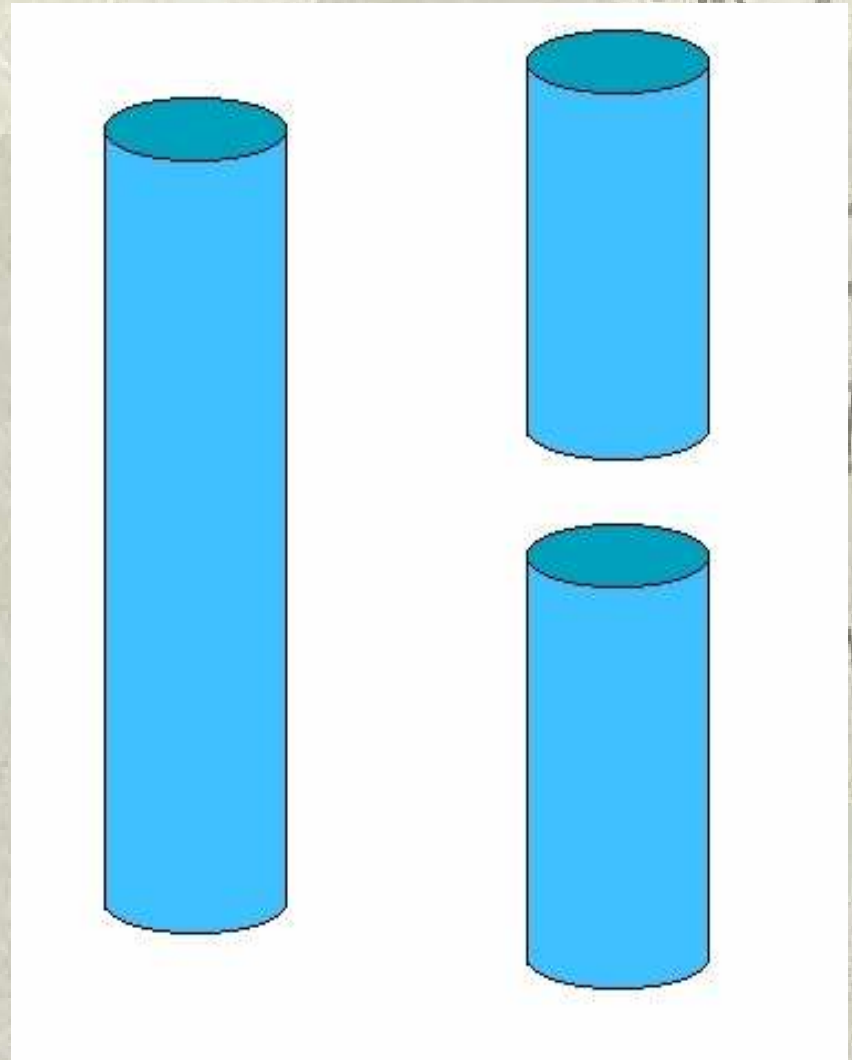
Tension Interfaciale

	γ_1 mJ/m ²		γ_2 mJ/m ²	γ_{12} mJ/m ²
Eau (pH = 7)	73	Benzène	29	35
		Octane	22	51
		Bitume	27–30	29–57

Travail de Cohésion

**TRAVAIL DE
COHESION W**

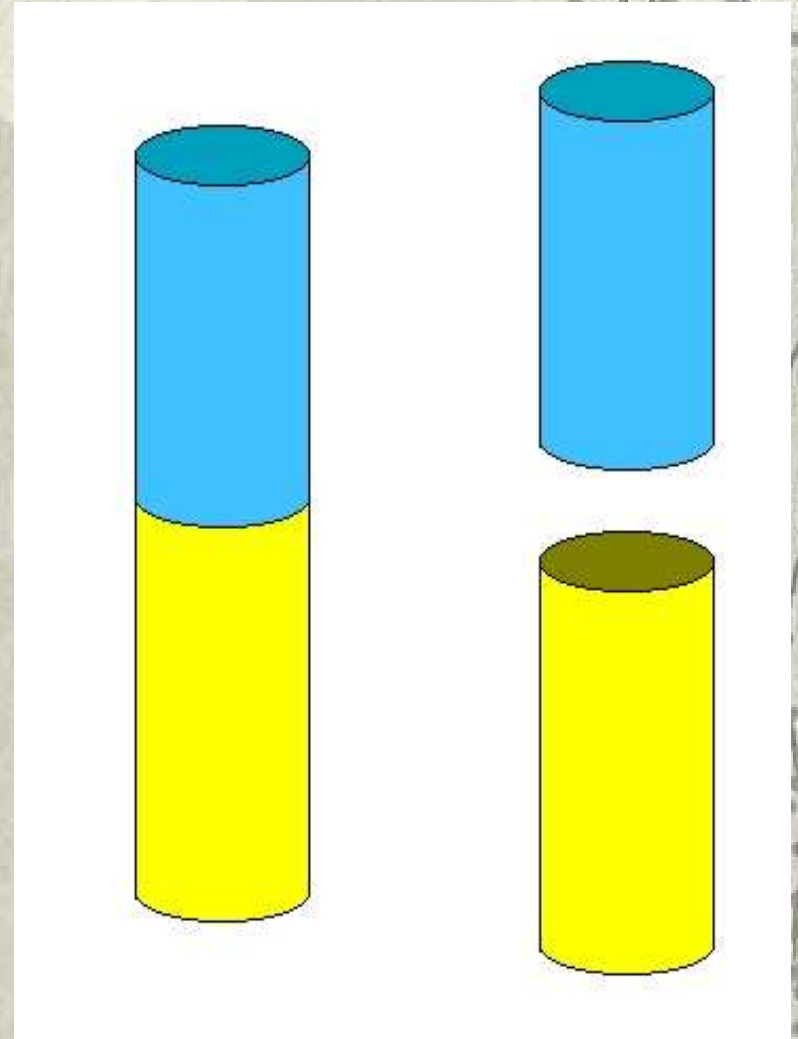
$$W = 2\gamma$$



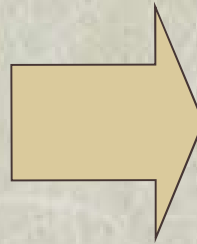
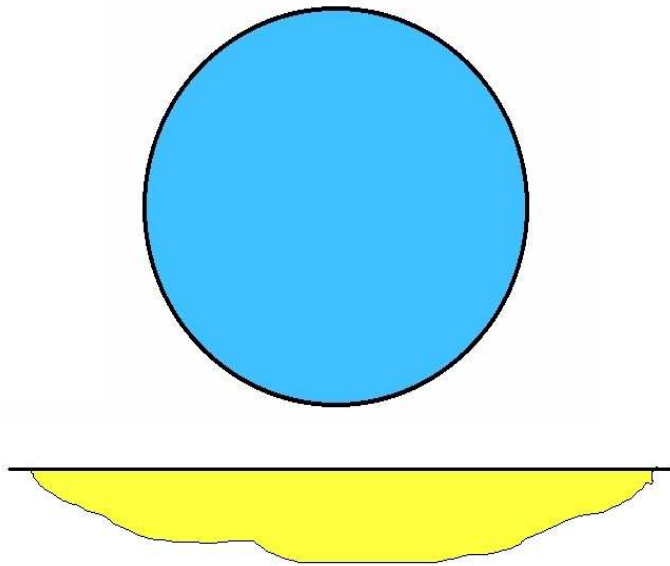
Travail d'Adhésion

**TRAVAIL
D'ADHESION W_{12}**

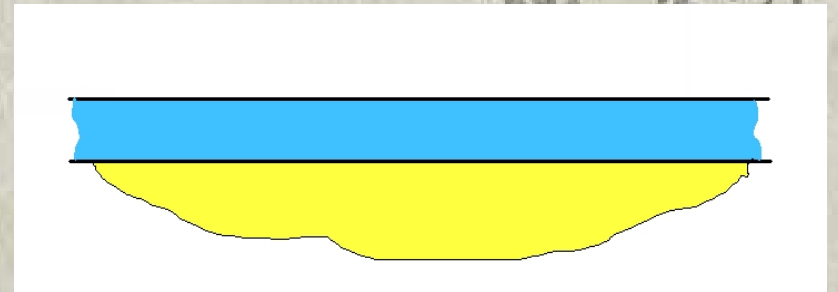
$$W_{12} = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12}$$



Etalement (mouillage)



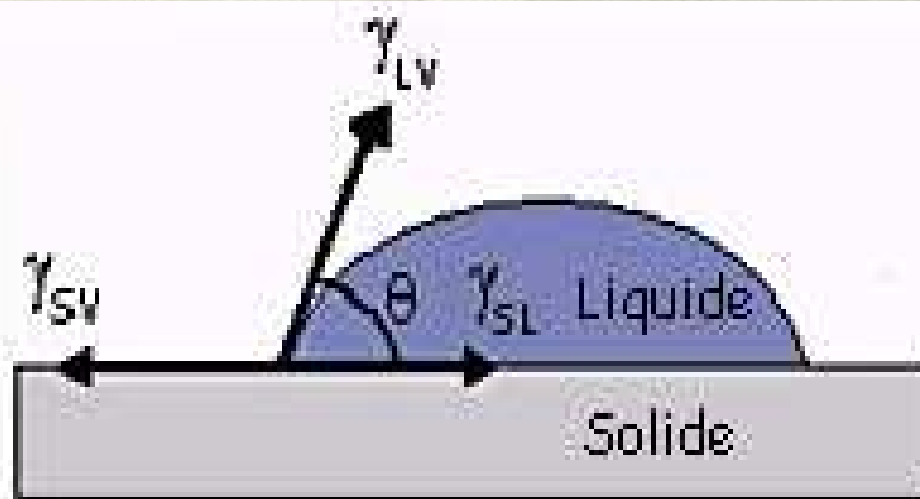
?



**COEFFICIENT
D'ETALEMENT S_{12}**

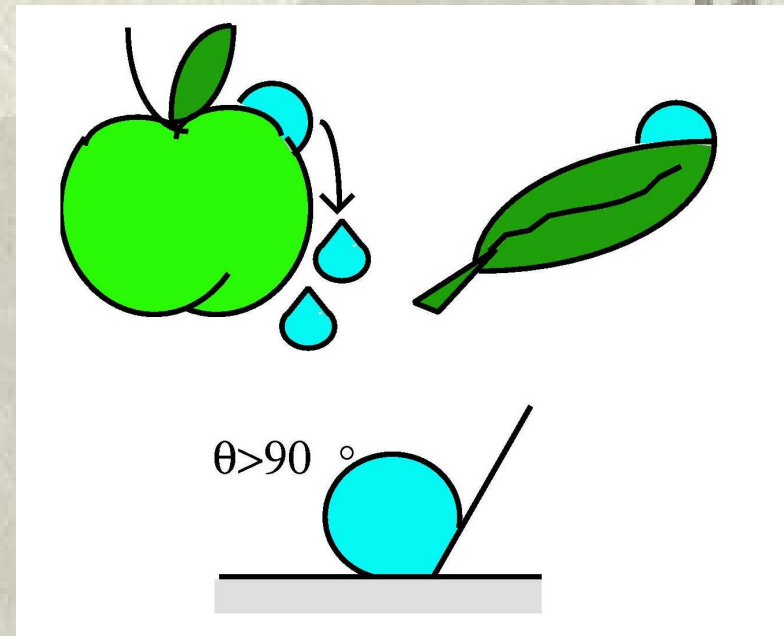
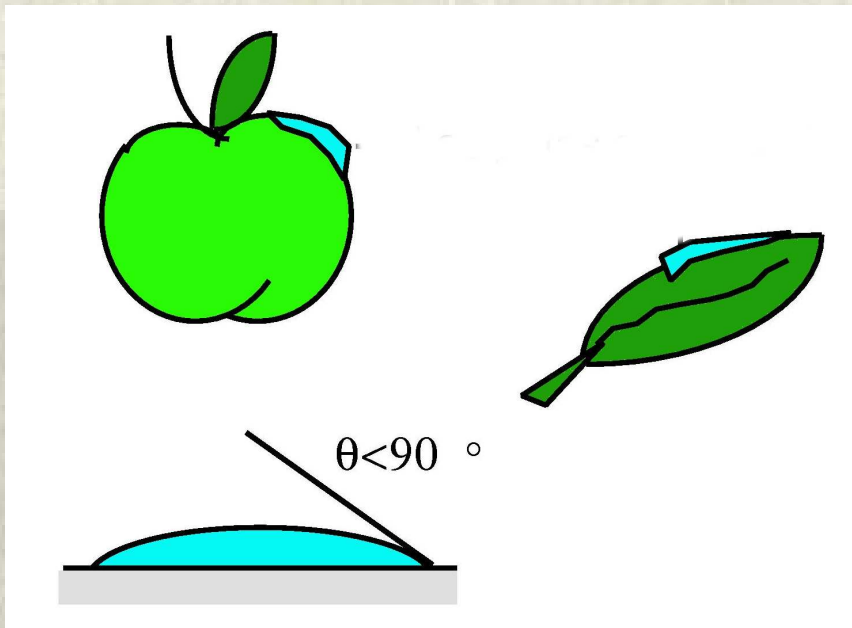
$$S_{12} = \gamma_2 - \gamma_{12} - \gamma_1$$

Angle de contact



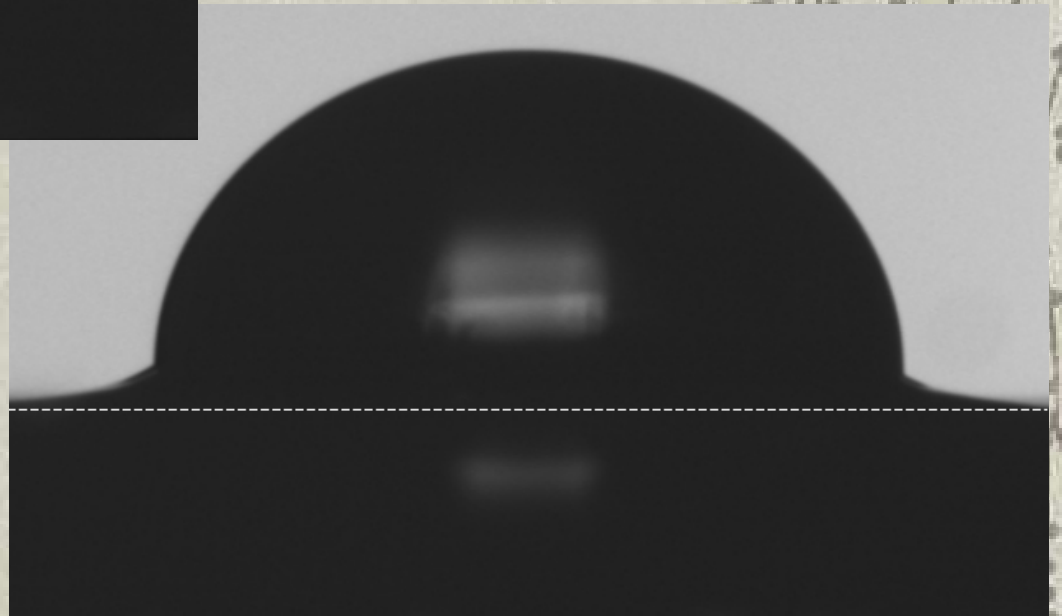
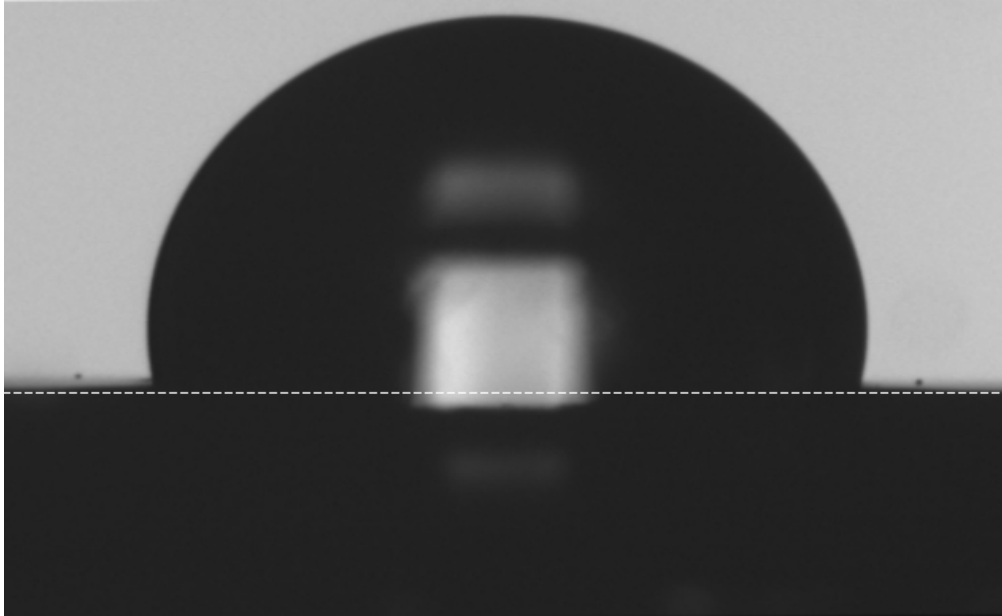
$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta$$

Angle de contact

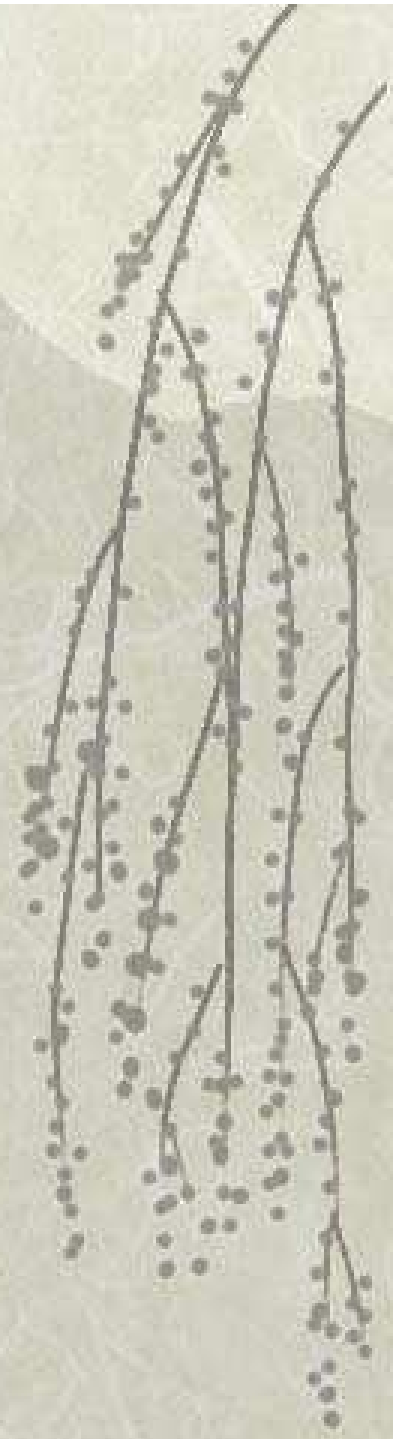
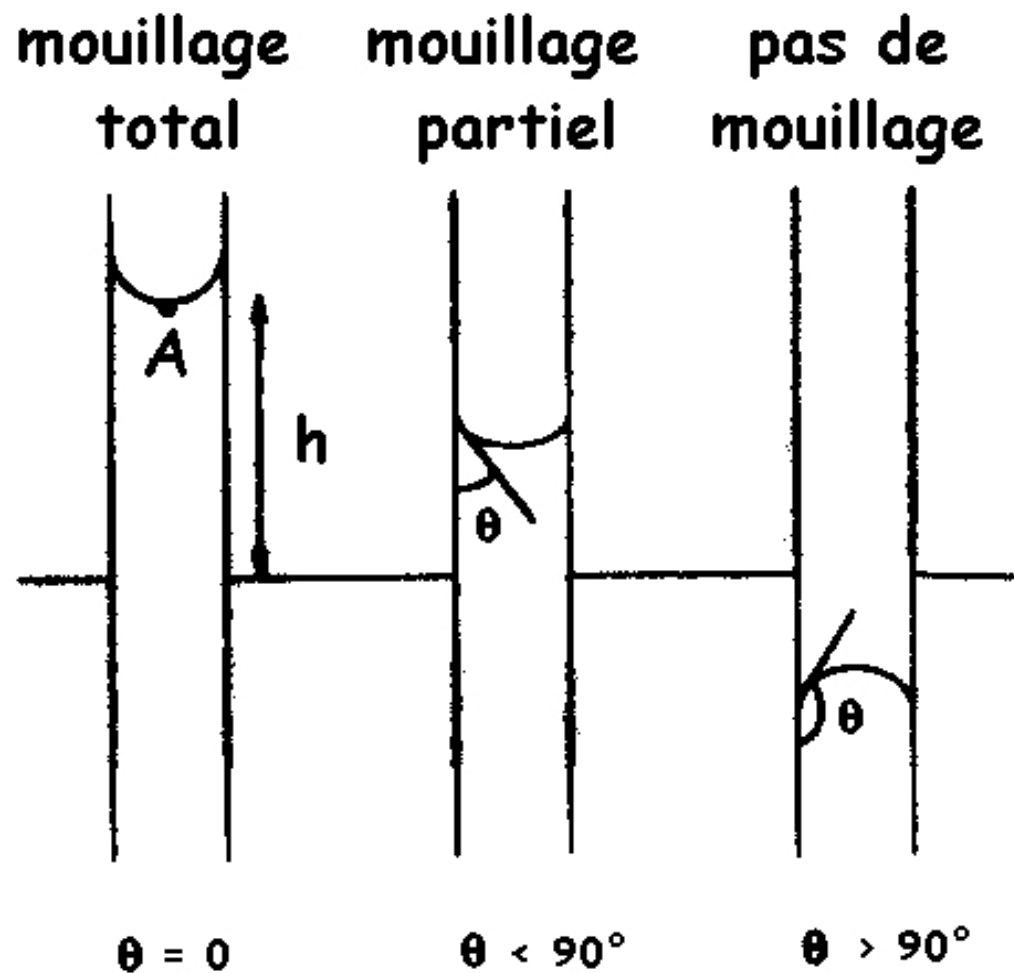


$\theta = 0^\circ$	<i>Mouillage Total</i>	$S_{12} > 0$
$\theta < 90^\circ$	<i>Mouillage Partiel</i>	$S_{12} < 0$
$\theta > 90^\circ$	<i>Non-Mouillage</i>	$S_{12} < 0$

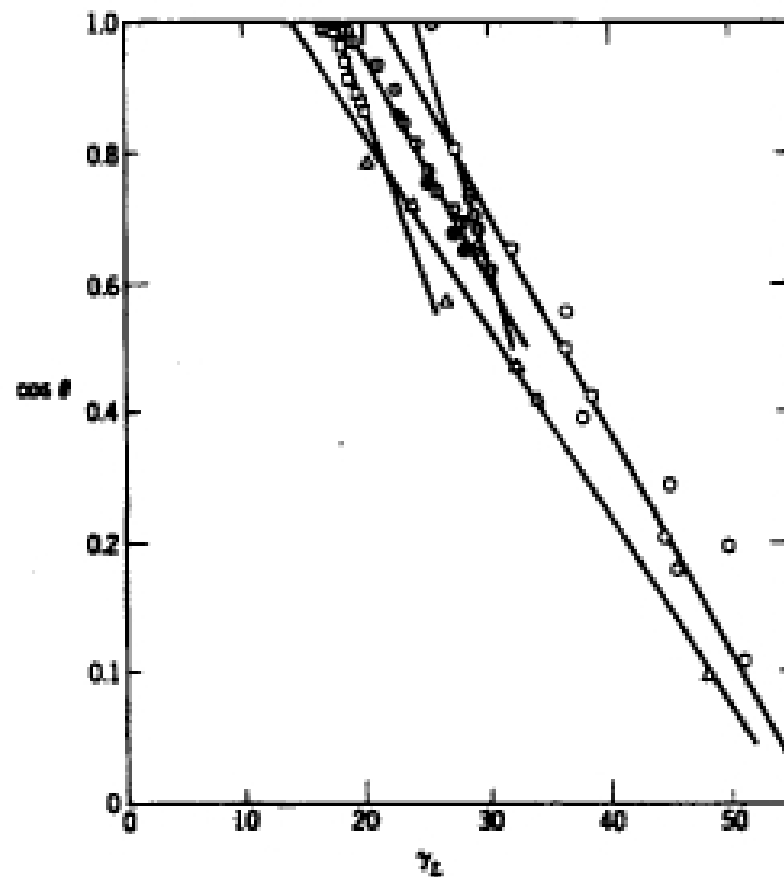
Angle de contact



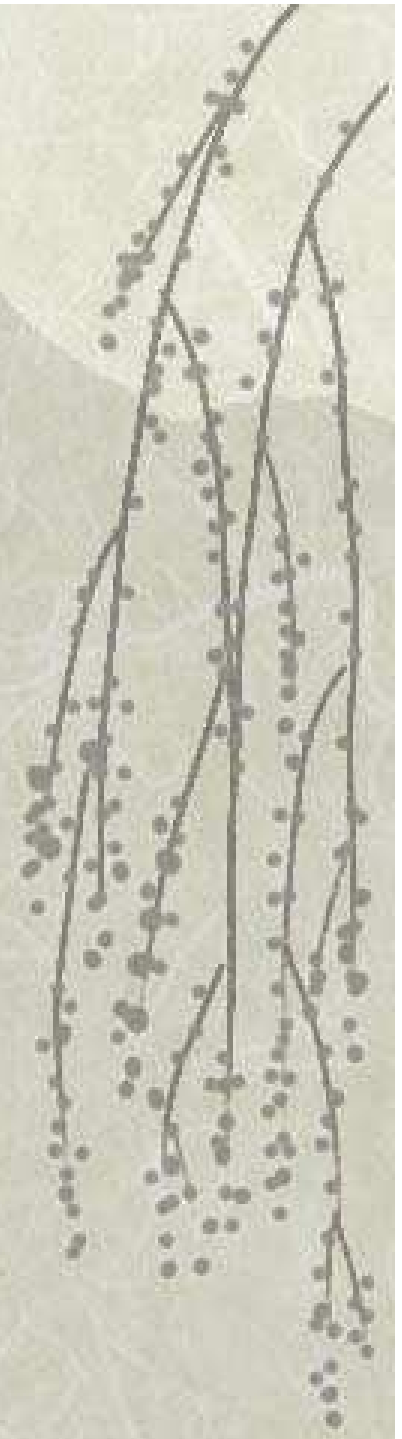
Remontée capillaire



Angle de contact



$\circ$, RX $\odot$, n-alkanes $\square$, siloxanes
 $\ominus$, alkylbenzens $\bullet$, dialkyl ethers $\triangle$, miscellaneous polar liquids



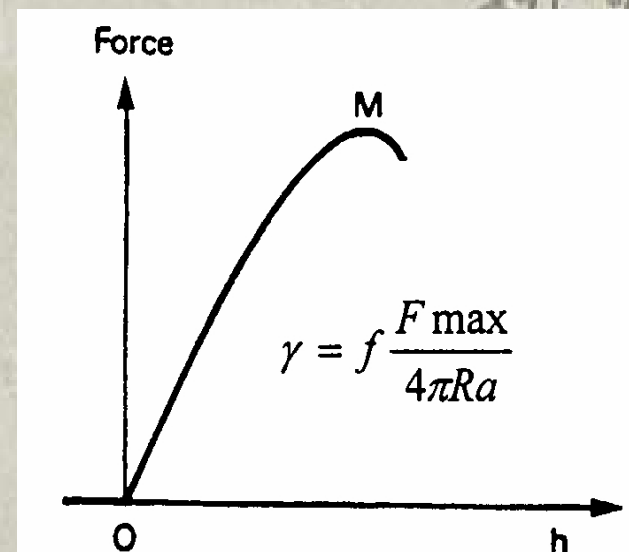
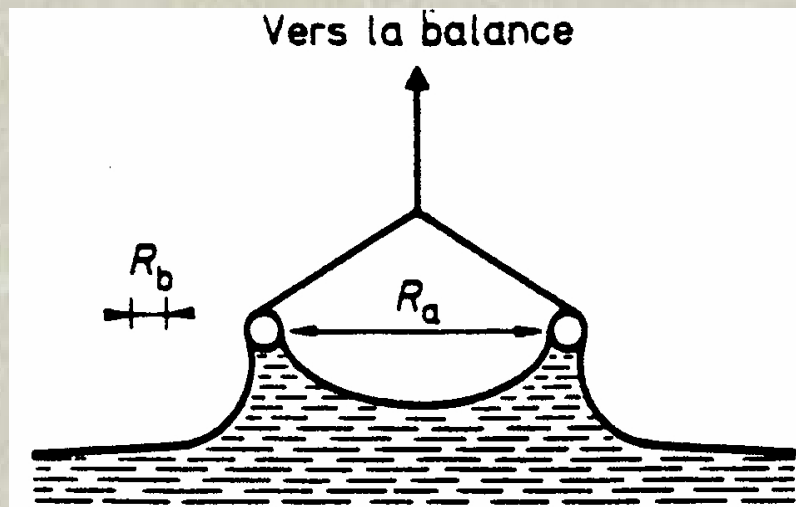
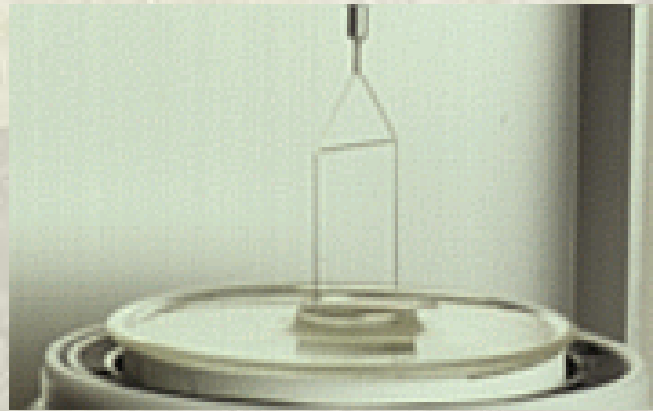
Angle de Contact

- ❖ Conséquence des courbes de Zisman
 - ❖ liquide de faible énergie mouille mieux (ex. bitume mieux que eau)
 - ❖ solide de faible énergie peu mouillable (ex. Teflon)

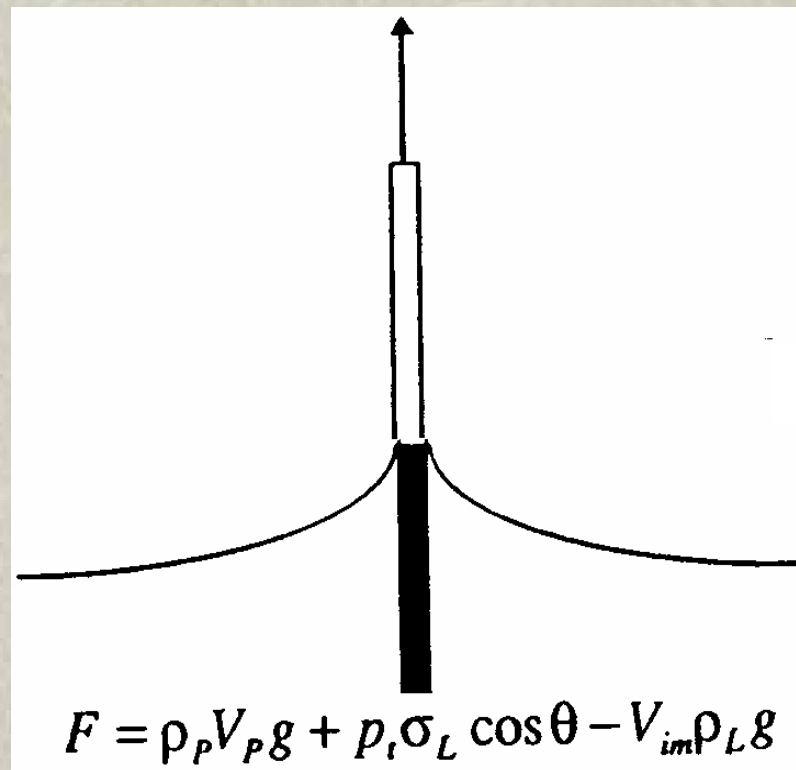
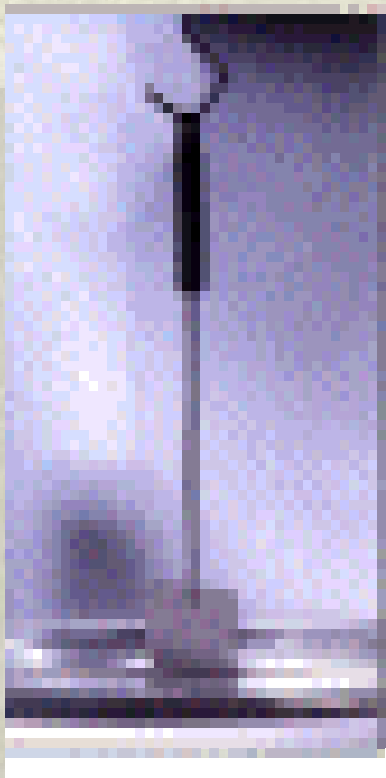
Angle de Contact

- ❖ Attention aux aspects cinétiques
 - ❖ les liquides visqueux s'étalent lentement
 - ❖ conséquence : un bitume fluxé mouillera mieux (si temps de contact limité)

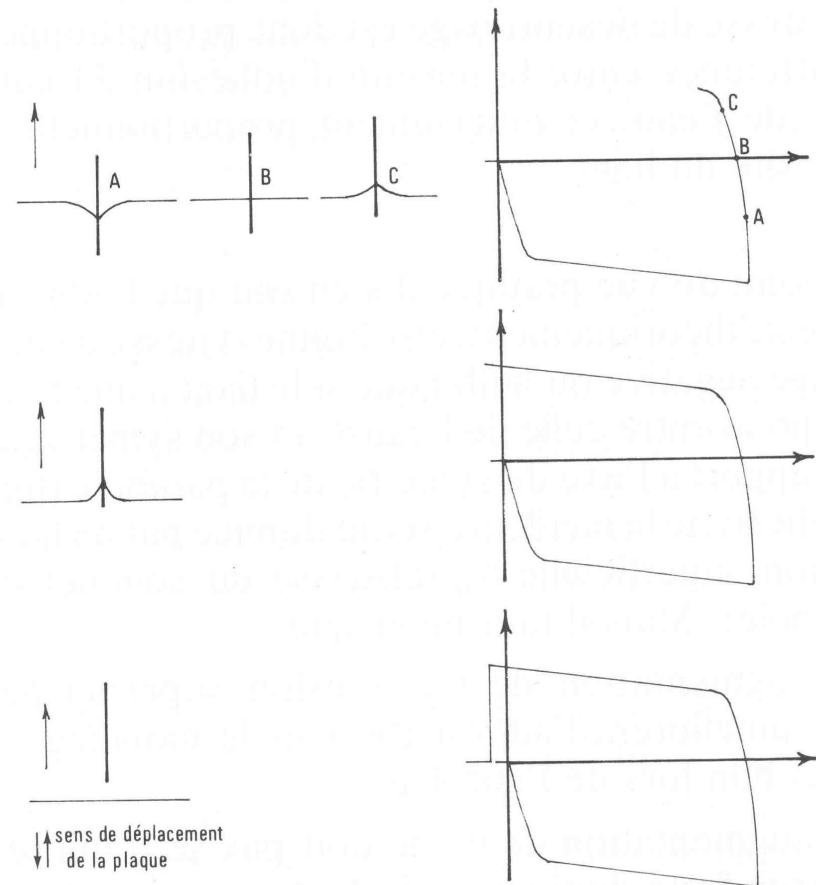
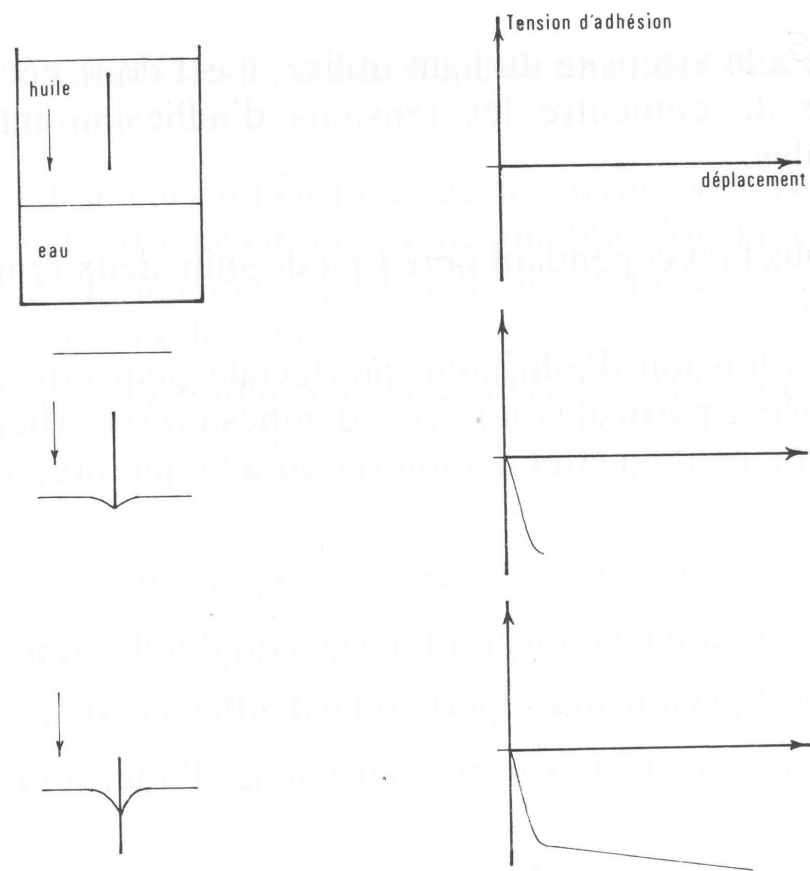
Mesures de tensions superficielles



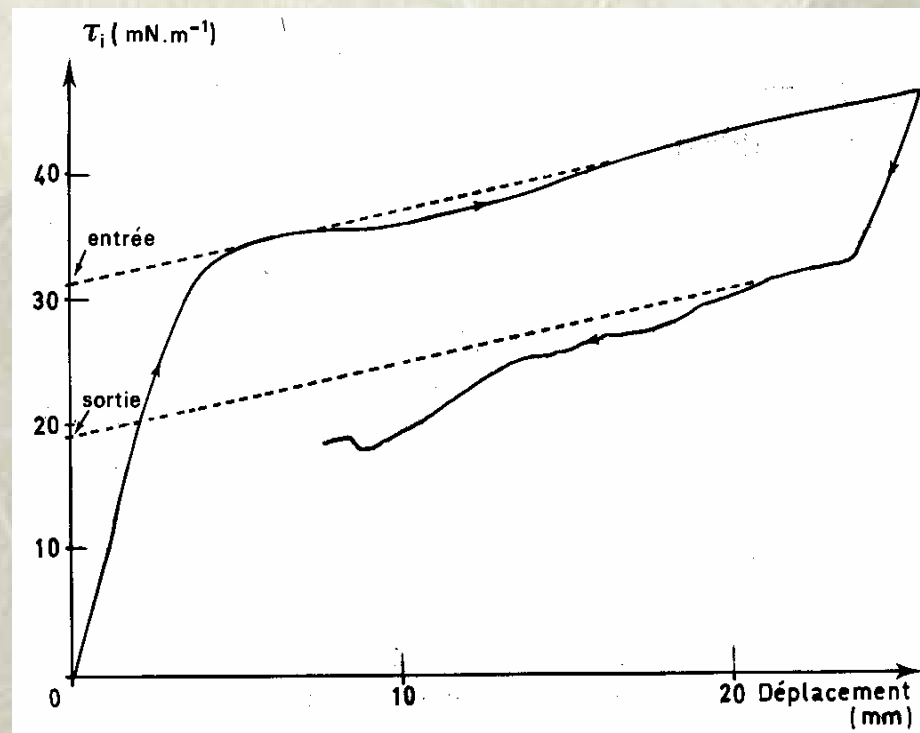
Mesures de tensions superficielles



Lame Wilhelmy



Lame Wilhelmy

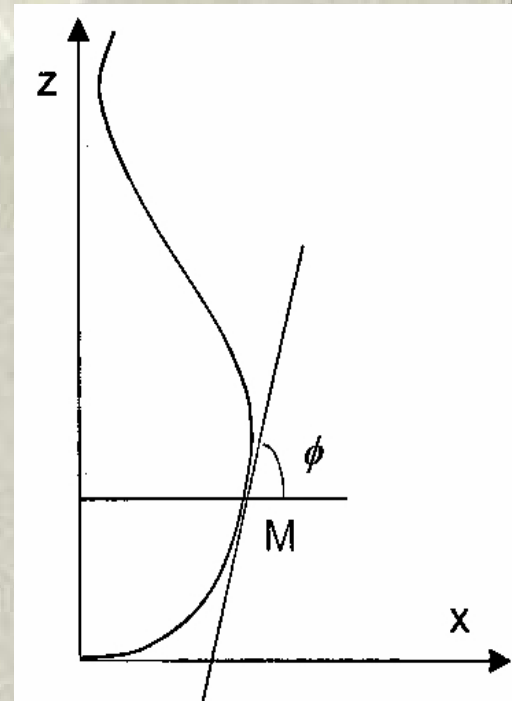
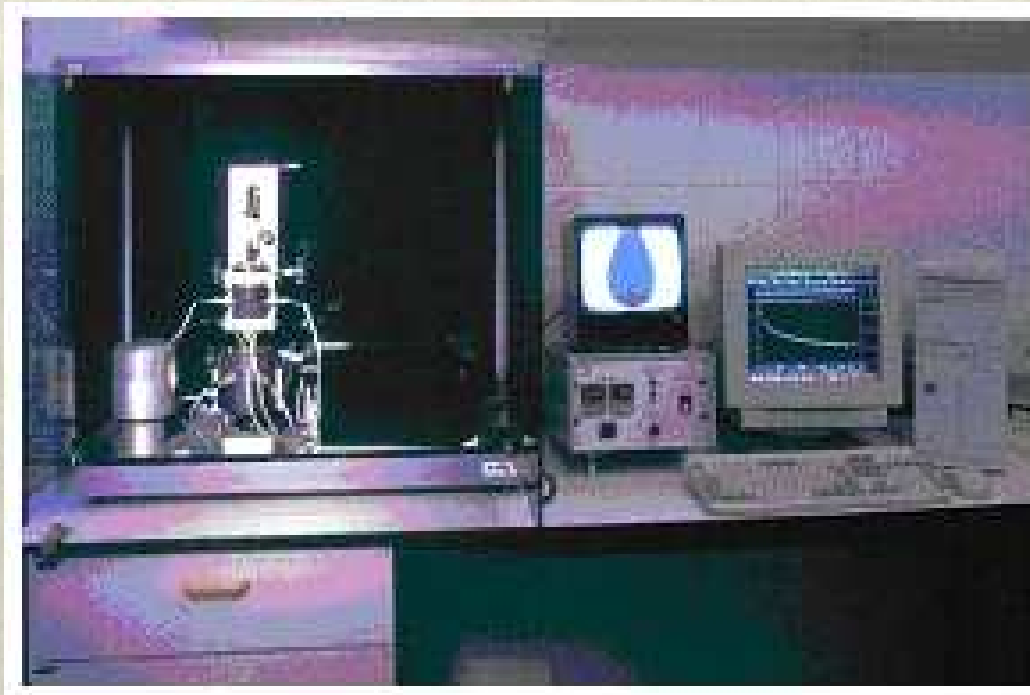


Benzène/Eau/Verre (Poli)

Angles de contact



Tensiomètre à goutte

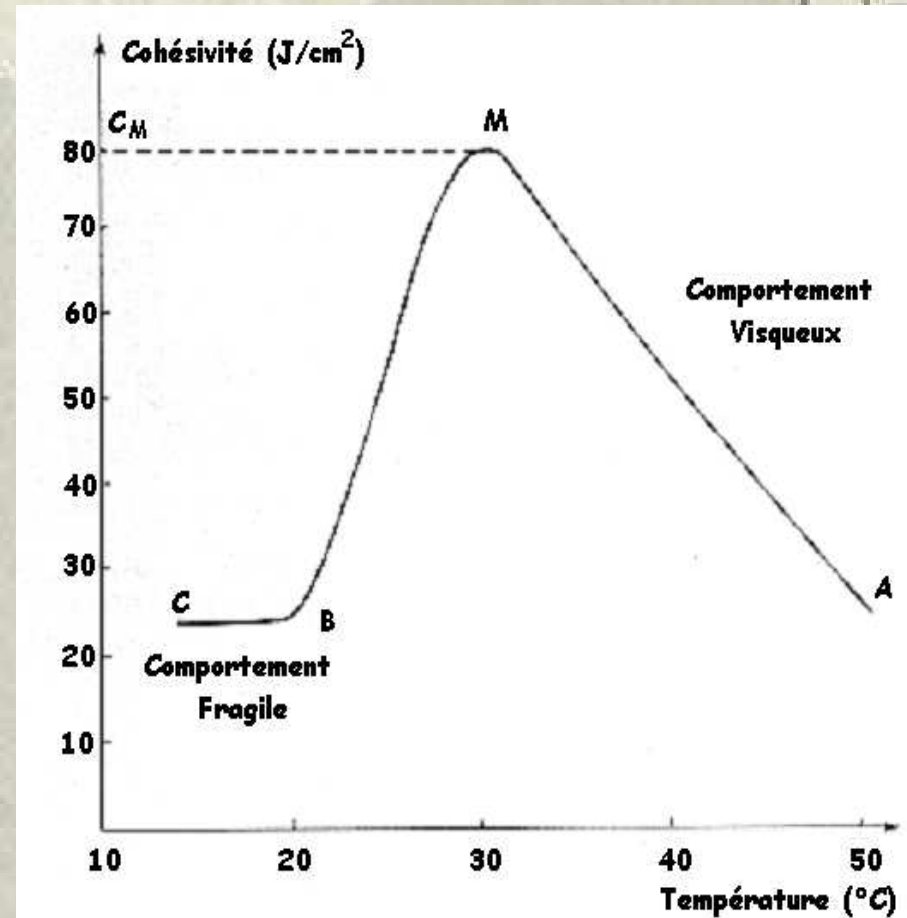
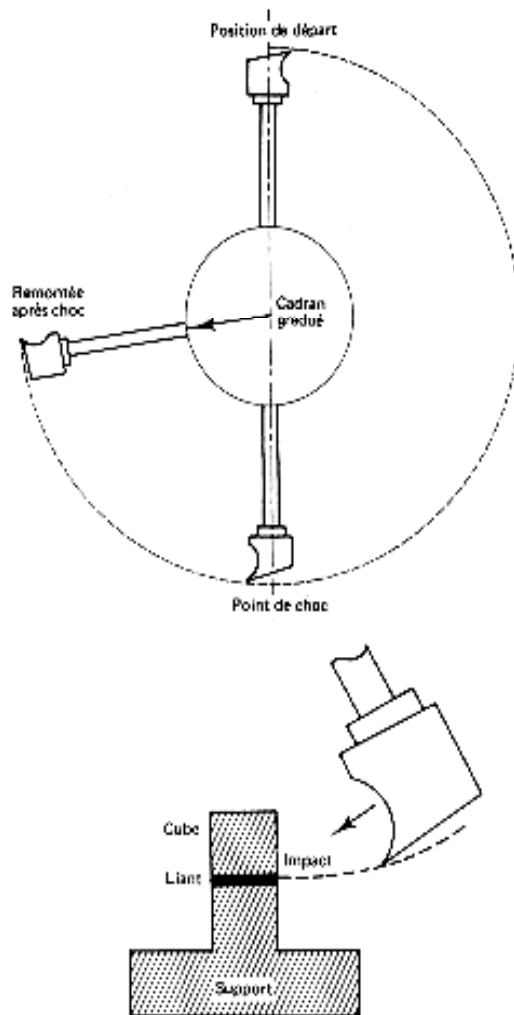


Mesures de Tension

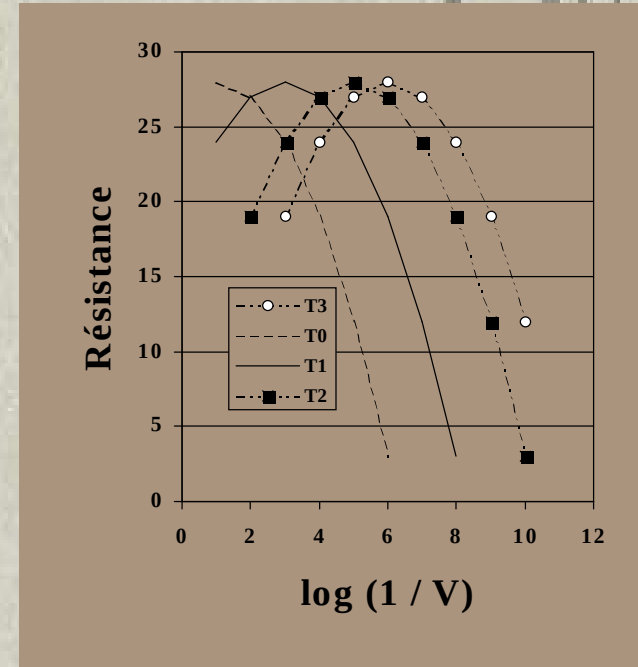
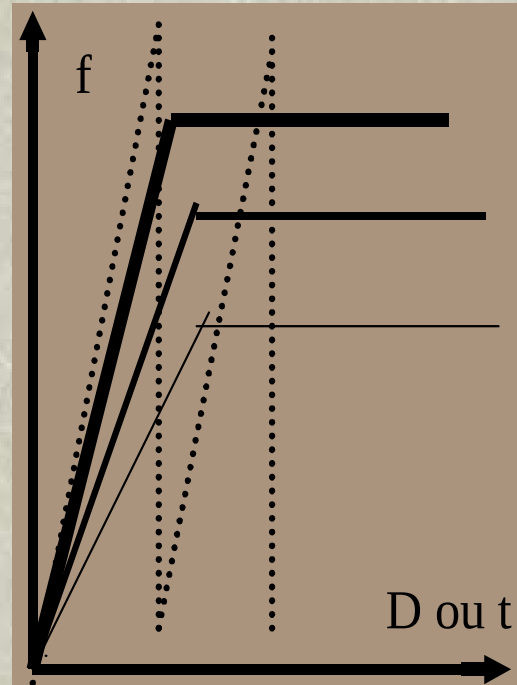
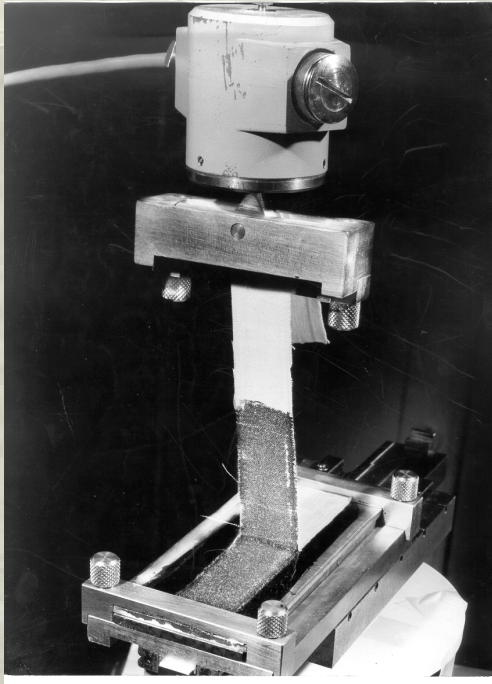
- ❖ ANNEAU DU NOUY, LAME WILHELMY :
- ❖ Système bitume/eau : nécessaire diluer bitume,
- ❖ Possibilité d'utiliser des lames minérales

- ❖ TENSIOMETRE A GOUTTE :
- ❖ Système bitume/eau : utilisation bitume non-dilué,
- ❖ Nécessite une très bonne précision sur la masse volumique

Mesures de Cohésion

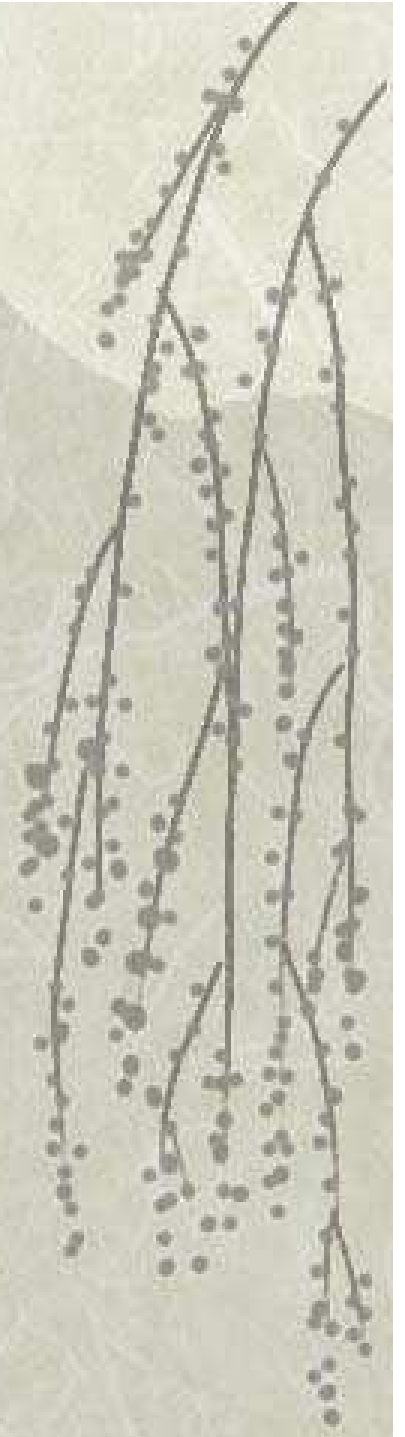


Essai de Pelage



Mesures de Cohésion

- ❖ MOUTON-PENDULE :
 - ❖ Reproductibilité moyenne
 - ❖ Contrôle thermique
 - ❖ Simplicité
-
- ❖ AUTRES ESSAIS (recherche) :
 - ❖ Pelage
 - ❖ Barreau Entaillé



Cohésion - Adhésion

- ❖ Le mouillage (adhésion) garantit la FORMATION d'un lien entre granulats
- ❖ La cohésion garantit la PERENNITE du lien

Cohésion - Adhésion

- ❖ Exemples :
 - ❖ mouillage uniquement : huile (pas de collage)
 - ❖ MOUILLAGE + COHESION : bitume, colles
 - ❖ cohésion uniquement : particules solides (pas de collage)

Adhésion Bitume-Granulat



❖ NF EN 12272-3 (Cohésion Vialit - Enduits)

Adhésion Bitume-Granulat

- ❖ Définitions (NF EN 12272-3)
 - ❖ adhésivité active : capacité du liant à coller aux granulats humides
 - ❖ adhésivité globale : capacité du liant à coller aux granulats secs
 - ❖ température de mouillabilité : température pour 90 % granulats tâchés
 - ❖ température de fragilité : température pour 90 % granulats restant collés

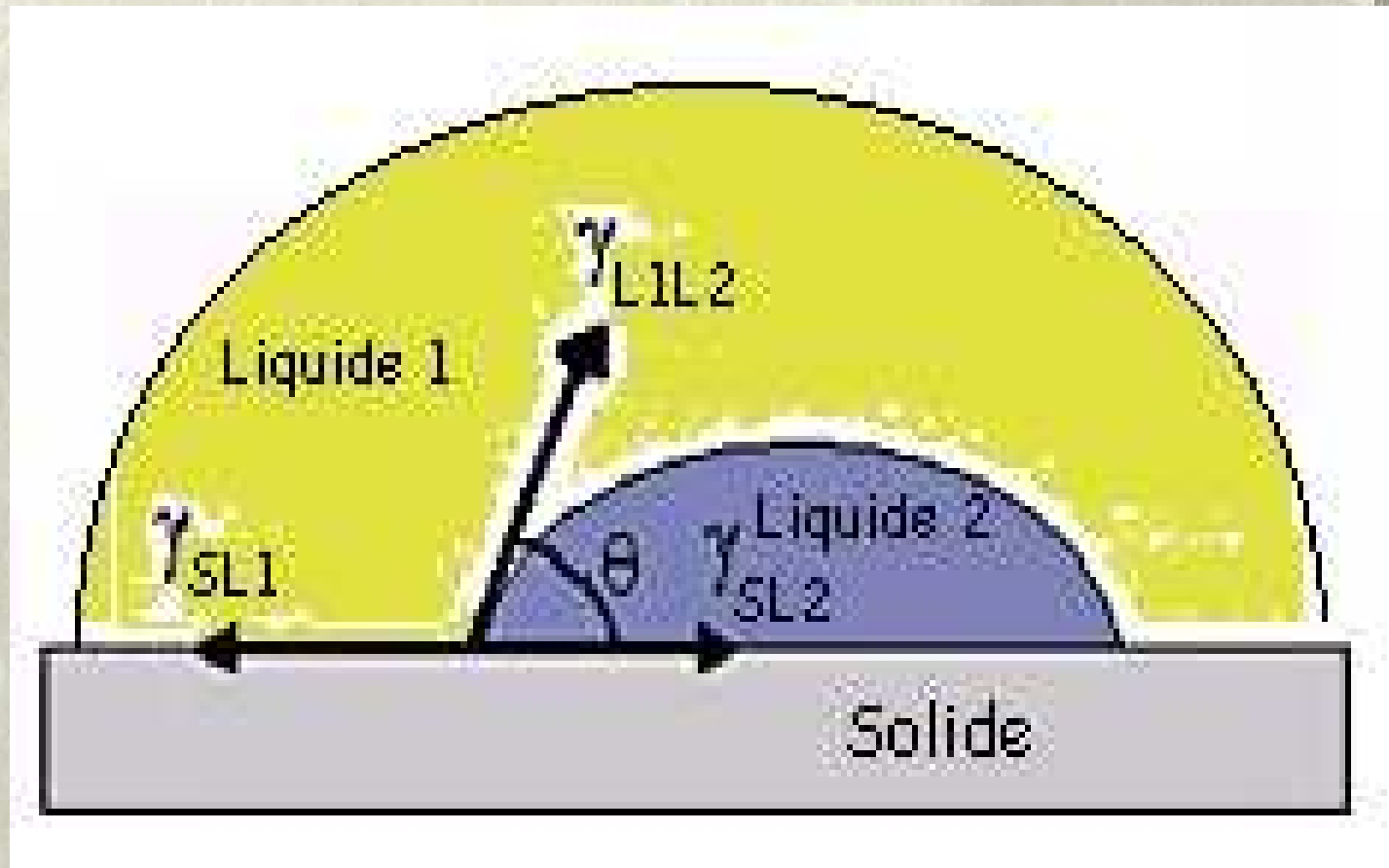
Adhésion Bitume-Granulat

- ❖ essai à 5°C (à moduler pour liants spéciaux)
- ❖ 50 ou 100 gravillons (cylindrés pour liants anhydre)
- ❖ chute d'une bille d'acier
 - ❖ 510 g
 - ❖ hauteur de 500 mm
 - ❖ 3 fois en 10 s

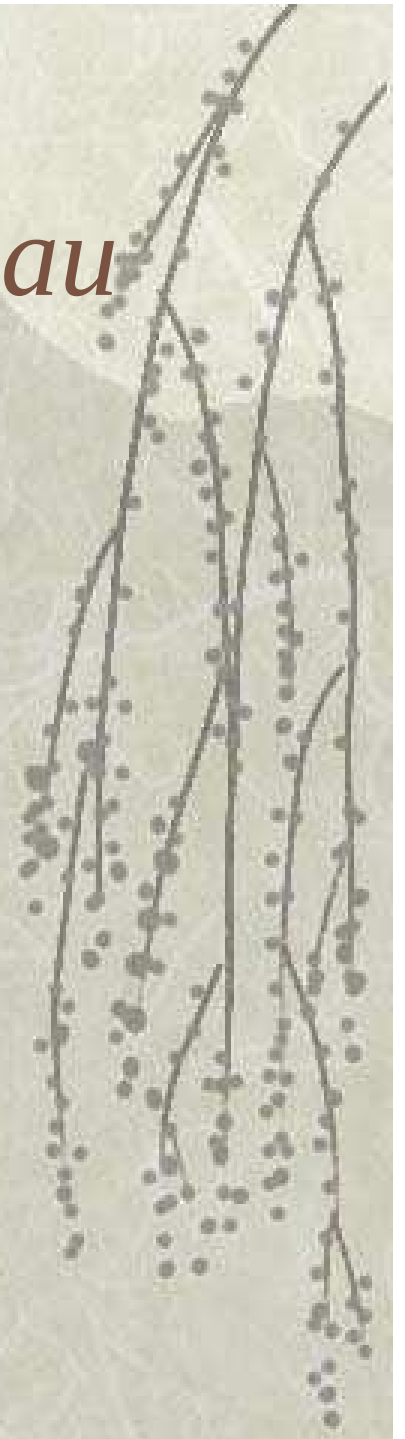
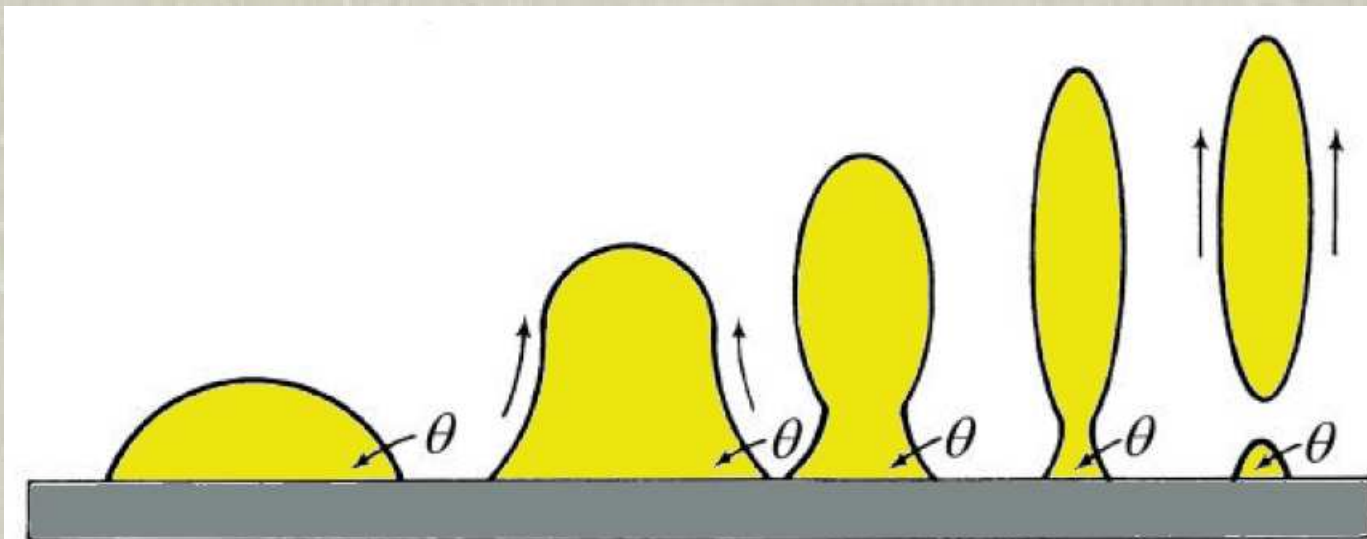
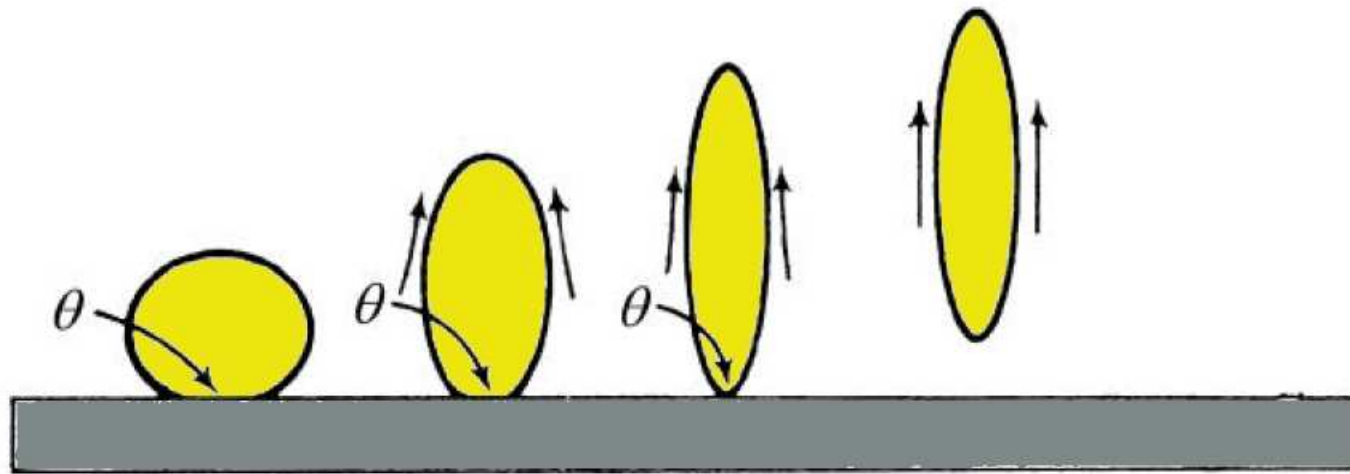
Adhésion Bitume-Granulat

- ❖ Température de mouillabilité :
 - ❖ préparation des éprouvettes à 5, 10, 15, 20, 25°C,... puis essai à 5°C
- ❖ Température de fragilité :
 - ❖ préparation des éprouvettes à 5, 0, -5, -10, -15°C,... puis essai à 5°C

Adhésivité en présence d'eau

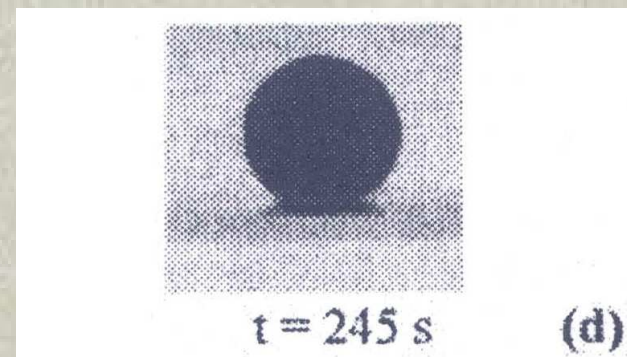
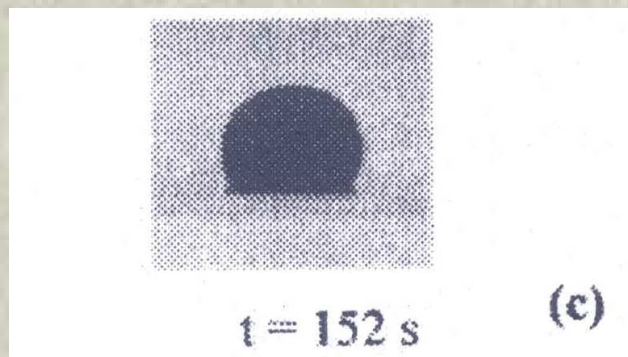
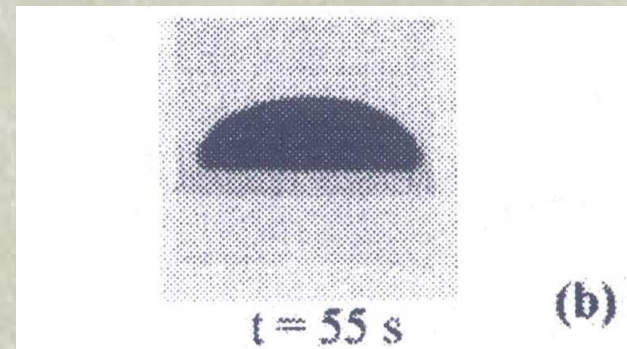
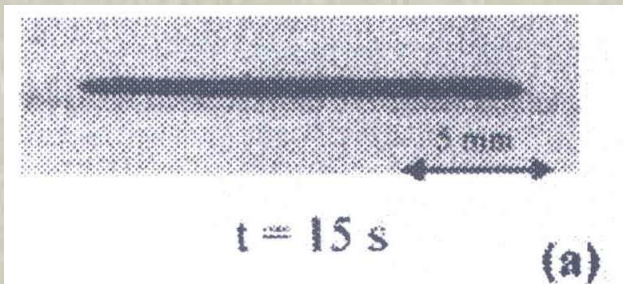


Adhésivité en présence d'eau



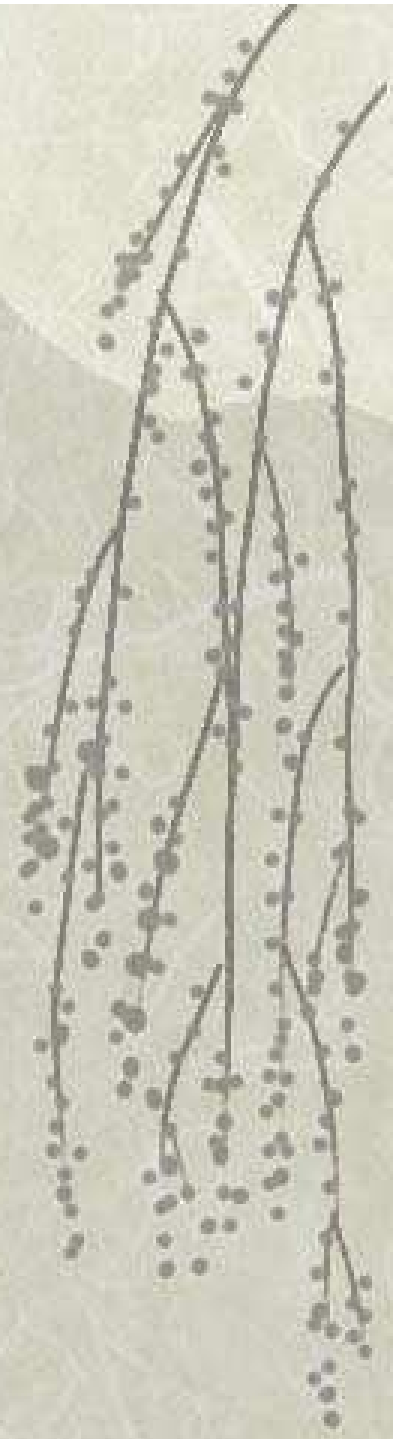
Adhésivité en présence d'eau

- ❖ bitume sur lame de verre en présence d'eau (Basu Fuel 2000)



Angle de Contact

- ❖ Attention aux aspects cinétiques
 - ❖ les liquides visqueux se détachent lentement
 - ❖ conséquence : un bitume dur se désenrobera plus lentement



Angle de Contact

- ❖ Attention au passage à l'enrobé
 - ❖ l'eau doit pénétrer pour que les effets soient observés : influence de la compacité
 - ❖ les films de bitume sont emprisonnés par le squelette granulaire : mobilité restreinte

Adhésivité Passive

- ❖ Définitions (XP T66-043)
 - ❖ adhésivité passive : capacité du liant à résister au désenrobage par l'eau

Désenrobage (LC 25-009) ou Immersion Statique (XP T 66-043)

- ❖ Evaluation visuelle du désenrobage
 - LC : granulats foncés et homogènes, dosage du Si solubilisé par fluorescence X après attaque acide
- ❖ Mélange granulat-bitume
 - LC : 100 g 5/10 - 2 g
 - XP : 100 g 6/10 - 5 g
- ❖ Désenrobage
 - LC : 24 h à Tp amb. et agitation 200 tr/min
 - XP : 16 h à 60°C

Immersion Statique

(LC 25-009 ou XP T 66-043)

❖ Résultats :

- LC : % massique de granulats désenrobés ($< 50\%$ de couverture)
- XP : Bon si surface couverte $> 75\%$



Immersion - Compression

(LC 26-001 ou NF P 98-251-1)

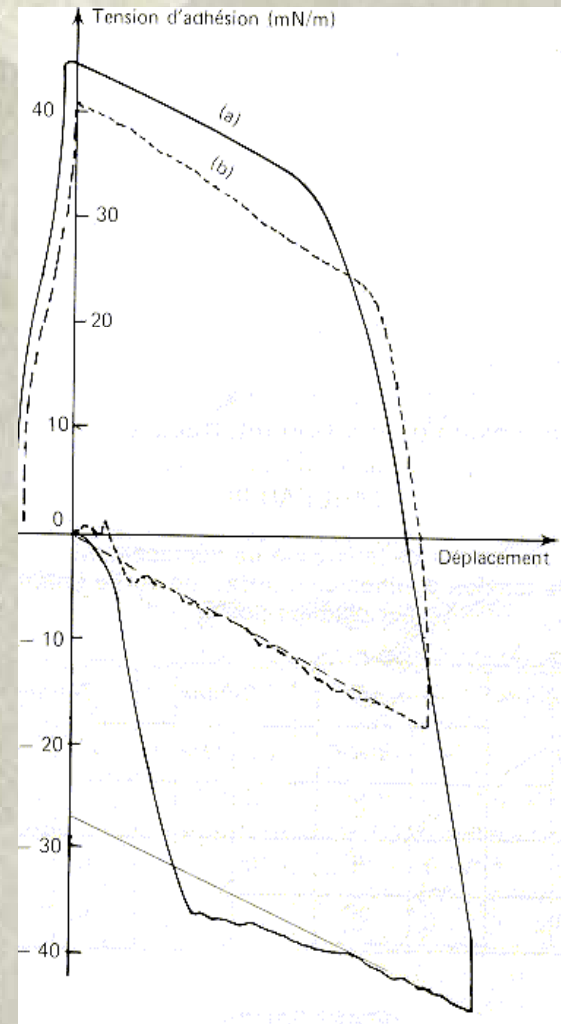
- ❖ Evaluation Mécanique du Désenrobage
- ❖ Immersion :
 - LC : 1 j à 60°C (ϕ 101,6 mm)
 - NF : 7 j à 18°C (ϕ 80 mm)



Adhésion bitume-granulat en présence d'eau

OCTANE/SILEX/EAU

- (a) lame non-polie
- (b) lame polie



Mesures de l'Adhésivité Passive

- ❖ ESSAIS FONDAMENTAUX

- ❖ difficiles à mettre en oeuvre

- ❖ ESSAIS PRATIQUES :

- ❖ Immersion Statique (LC 25-009 ou XP T66-043)

- ❖ Résistance en Compression après Immersion (LC 26-001 ou NF P98-251-1)

Mesures Préventives

- ❖ Propreté des Granulats :
 - Essai au Bleu de Méthylène (LC 21-255 ou EN 933-9)
 - Essai d'Equivalent de Sable (ASTM D2419 ou EN 933-8)

- ❖ Enrobés à Chaud :
 - Séchage des granulats
 - Ajout de filler “actif” (calcaire, ciment, chaux)

Mesures Curatives

❖ Modes de dopage

- dans la masse du liant (attention stockage),
- à l'interface avant gravillonnage (dopage d'interface pour enduits)
- prétraitement du granulat
- préenrobage, laquage,...

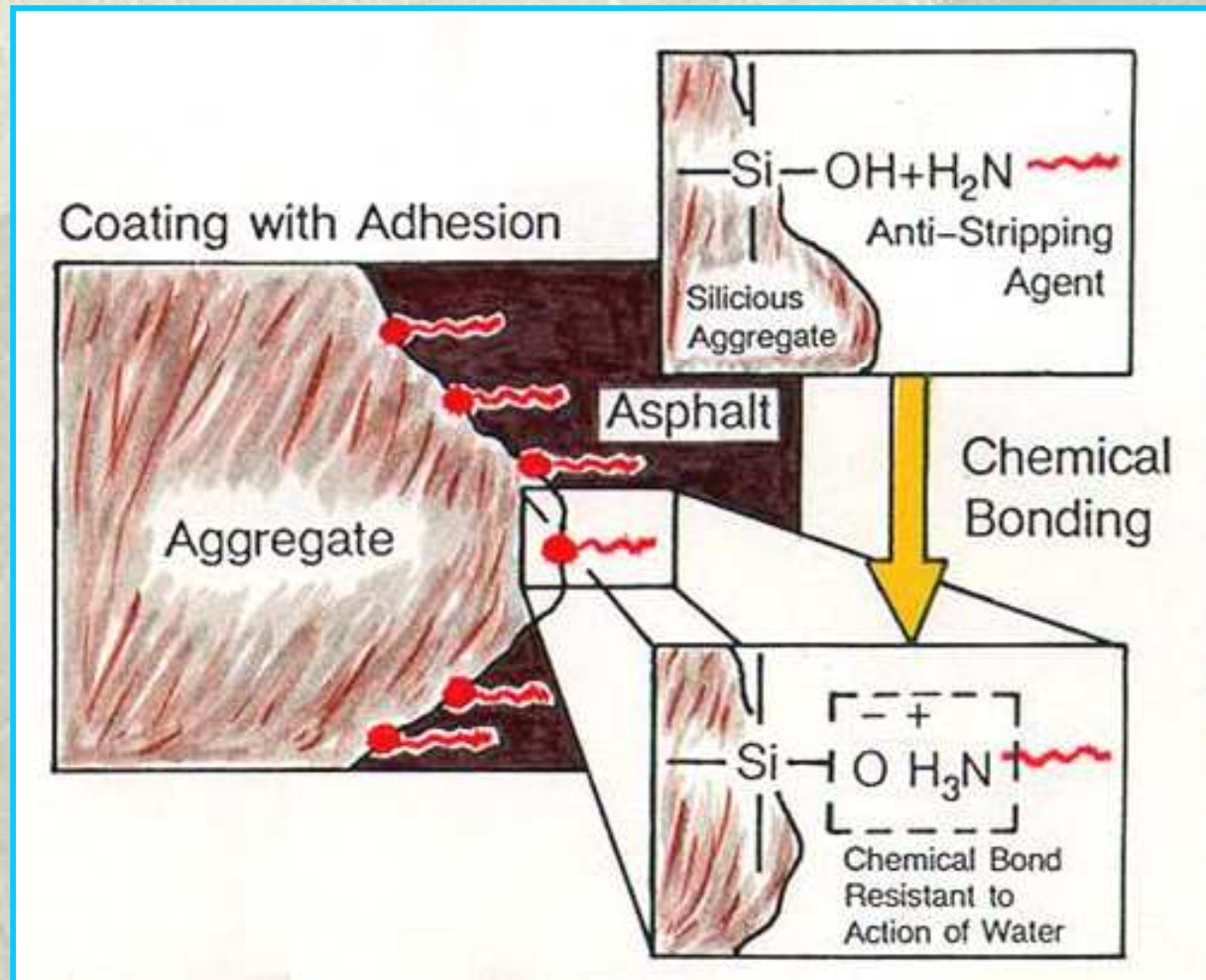
❖ Critères de choix

- coût,
- logistique

Mesures Curatives

- ❖ Ajout de dopes d'adhésivité
 - Typiquement des tensioactifs cationiques STABLES thermiquement (typiquement 3 kg/t de liant MAIS variable)
 - Possibilité de mettre de la chaux (environ 1 %):
 - France années 1950
 - US maintenant

Mesures Curatives

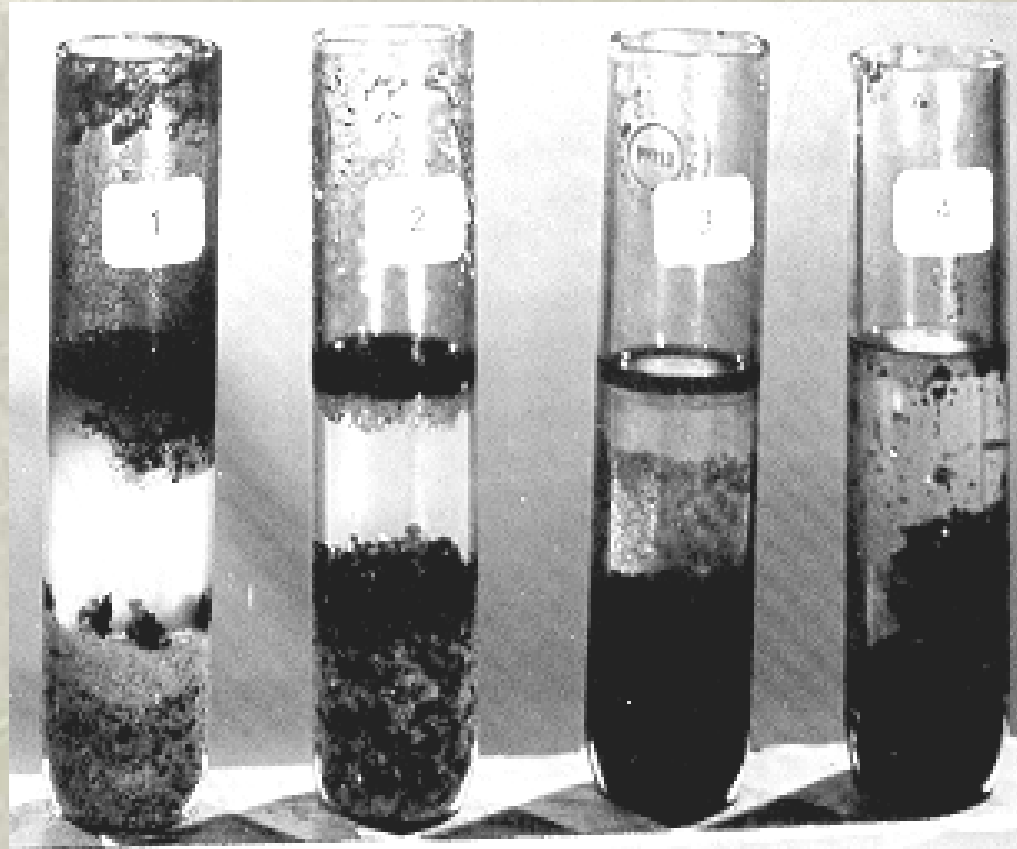


Mesures Curatives

- ❖ Evaluation d'un dope : essai d'efficacité (NF T66-061)
 - immersion dynamique (agitation)
 - sable siliceux 0,1/0,6
 - solution liant / cyclohexane 10 / 90

Mesures Curatives

❖ Efficacité d'un dope



Mesures Curatives

- ❖ Efficacité d'un dope : immersion statique



Conclusions

- ❖ Adhésion bitume – granulat assez bien comprise
 - ❖ mais méthodes expérimentales rigoureuses complexes
 - ❖ d'où des essais normalisés empiriques
- ❖ Quelques précautions améliorent l'adhésion (propreté des granulats, séchage, ...)