MIGRATION DE L'EAU

PAR CAPILLARITÉ

par Armand Patenaude

AIR-INS inc.

mars 1993

Agent du projet à la SCHL: Jacques Rousseau

Ce projet a été réalisé grâce à une contribution financière de la Société canadienne d'hypothèques et de logement, dans le cadre du Programme de subventions de recherche (Dossier n° 6585/P053 de la SCHL). Les idées exprimées sont celles de l'auteur et ne représentent pas le point de vue officiel de la SCHL.

NOTE: ISSUED ALSO IN ENGLISH UNDER THE TITLE:

MIGRATION OF WATER BY CAPILLARITY

AIR-INS inc.

La Société Canadienne d'Hypothèques et de Logement, l'organisme du logement du gouvernement du Canada, a pour mandat d'appliquer la Loi nationale sur l'habitation.

Cette loi a pour objet d'aider à améliorer les conditions d'habitation et de vie au Canada. C'est pourquoi la Société s'intéresse à tout ce qui concerne l'habitation, l'expansion et le développement urbains.

Aux termes de la Partie IX de la Loi, le gouvernement du Canada autorise la SCHL à consacrer des fonds à la recherche sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et à en publier et diffuser les résultats. La SCHL a donc l'obligation légale de veiller à faire largement connaître tout renseignement de nature à améliorer les conditions d'habitation et de vie.

La présente publication est l'un des nombreux moyens d'information que la SCHL produit grâce au concours du gouvernement fédéral.

ABRÉGÉ

L'objectif principal de ce projet de recherche est de prédire l'ascension capillaire de l'eau de pluie dans une fente ou un tube en fonction de la nature du ou des matériaux que l'on rencontre dans la construction de l'enveloppe d'un bâtiment. Les objectifs secondaires visent la détermination de: l'angle de contact, la hauteur maximale entre deux surfaces horizontales qui permet l'adhésion de l'eau sur les deux surfaces visées et la hauteur maximale que l'eau peut atteindre sur une surface horizontale.

Le rapport définit les résultats expérimentaux pour plus de 30 matériaux de base et pour 6 systèmes hybrides. Certaines recommandations visant la conception des fenêtres et d'autres composantes du parement extérieur sont aussi élaborées.

SOMMAIRE

Ce projet de recherche vise principalement la prédiction de l'ascension capillaire de l'eau de pluie dans une fente ou un tube en fonction de la nature du ou des matériaux que l'on rencontre dans la construction de l'enveloppe d'un bâtiment. Les objectifs secondaires visent la détermination de: l'angle de contact de l'eau avec le matériau, la hauteur maximale entre deux surfaces horizontales qui permet l'adhésion de l'eau sur les deux surfaces visées et, la hauteur maximale que l'eau peut atteindre sur une surface horizontale.

L'analyse expérimentale des paramètres définis ci-dessus a été réalisée pour plus de 30 matériaux de base (bois, aluminium, PVC, béton, etc...) et pour 6 systèmes hybrides (verre versus aluminium, verre versus PVC, etc...).

Les résultats expérimentaux démontrent que:

- l'ascension capillaire est inversement proportionnelle à l'espacement entre deux surfaces planes ou au diamètre d'un tube cylindrique. Pour l'ensemble des matériaux visés, l'ascension capillaire varie dans un rapport de 6 (verre) à 1 (tôle galvanisée);
- à l'exception du verre dont l'angle de contact est de 59.9°, tous les autres matériaux ont un angle de contact qui varie entre 71.5° et 85.6°;
- la hauteur maximale entre deux surfaces horizontales qui permet l'adhésion de l'eau de pluie à ces deux surfaces oscille entre 5.2 mm (contreplaqué) et 8.8 mm (panneau gaufré traité au Pentox);
- la hauteur maximale que l'eau de pluie peut atteindre sur une surface horizontale est de 5.2 mm (panneau gaufré traité au Pentox).

TABLE DES MATIÈRES

1. MANDAT 1

2. SOMMAIRE 1
   2.1 MATÉRIAUX MIS À L'ESSAI 1
   2.2 RÉSULTATS IMPORTANTS 3
   2.3 CONCLUSIONS 6

3. INTRODUCTION 7
   3.1 DESCRIPTION DES ÉCHANTILLONS (PHOTO 1) 8
   3.2 ANALYSE DE L'EAU DE PLUIE UTILISÉE 8

4. EXPÉRIMENTATION 9
   4.1 MESURE DE L'ASCENSION CAPILLAIRE ET DÉTERMINATION DE L'ANGLE DE CONTACT 9
   4.2 HAUTEUR MAXIMALE ENTRE DEUX SURFACES HORIZONTALES QUI PERMET L'ADHÉSION DE L'EAU DE PLUIE ENTRE CELLES-CI 15
   4.3 HAUTEUR MAXIMALE QUE L'EAU DE PLUIE PEUT ATTEINDRE SUR UNE SURFACE HORIZONTALE 20

5. APPLICATIONS 22

6. CONCLUSIONS 23

7. RECOMMANDATION 24

1. MANDAT

Le but principal de la recherche est de pouvoir prédire l'ascension capillaire dans une fente ou un tube en fonction de la nature du ou des matériaux visés (fini de surface) et de l'espacement entre ceux-ci lorsque le liquide correspond à de l'eau de pluie.

Les objectifs secondaires visés sont:

- Déterminer l'angle de contact (Θ) de l'eau de pluie avec les matériaux de construction usuels de l'enveloppe du bâtiment;
- déterminer la hauteur maximale entre deux surfaces horizontales qui permet l'adhésion de l'eau de pluie entre celles-ci en fonction de la nature des matériaux visés;
- déterminer la hauteur maximale que l'eau de pluie peut atteindre sur une surface horizontale en fonction de la nature des matériaux visés.

2. SOMMAIRE

2.1 MATÉRIAUX MIS À L'ESSAI

Les matériaux étudiés ainsi que leurs finis de surface sont des composantes qui sont généralement le plus utilisées dans la construction de l'enveloppe des bâtiments. Des systèmes hybrides (deux matériaux différents) ont aussi été mis à l'essai.

Pour certains matériaux visés, il a été impossible d'effectuer les essais de capillarité dû à la non planéité des surfaces.

Le tableau A donne les matériaux et les finis mis à l'essai ainsi que les essais effectués.

TABLEAU A: MATÉRIAUX ET FINIS MIS À L'ESSAI

MATÉRIAU	FINI	ESSAIS EFFECTUÉS		
		ASCENSION CAPILLAIRE	DISTANCE ENTRE 2 SURFACES	HAUTEUR DE L'EAU AU REPOS
Pin blanc	Peinture à l'huile	X	X	X
Pin blanc	Peinture au latex	X	X	X
Pin blanc	Apprêt au latex	X	X	X
Pin blanc	Vernis à l'huile	X	X	X
Pin blanc	Vernis au latex	X	X	X
Pin blanc	Traité	X	X	X
Pin blanc	Naturel	X	X	X
Contre-plaqué	Peinture à l'huile	X	X	X
Contre-plaqué	Peinture au latex	X	X	X
Contre-plaqué	Apprêt au latex	X	X	X
Contre-plaqué	Vernis à l'huile	X	X	X
Contre-plaqué	Vernis au latex	X	X	X
Contre-plaqué	Traité	X	X	X
Contre-plaqué	Naturel	X	X	X
Epinette	Traité	X	X	X
Epinette	Naturel	X	X	X
Cèdre	Naturel	X	X	X
Panneau gaufré	Naturel	X	X	X
Panneau gaufré	Traité	X	X	X
Aluminium	Anodisé	X	X	X
Aluminium	Naturel	X	X	X
Aluminium	Peint	X	X	X
P.V.C.	Blanc	X	X	X
P.V.C.	Brun	X	X	X
Plexiglass	Naturel	X	X	X
Acrylique	Naturel	X	X	X
Tôle	Galvanisée	X	X	X
Verre	Clair, recuit	X	X	X
Brique	Argile	X	X	X
Mortier		X	X	X
Béton			X	X
Scellant	Silicone		X	X
	Uréthanne		X	X
	Acrylique		X	X

MATÉRIAU	FINI	ESSAIS EFFECTUÉS		
		ASCENSION CAPILLAIRE	DISTANCE ENTRE 2 SURFACES	HAUTEUR DE L'EAU AU REPOS
Systèmes Hybrides				
Verre versus Aluminium	Naturel	X		X
	Anodisé	X		X
	Peinturé	X		X
Verre versus PVC		X		X
Verre versus Pin blanc	Naturel	X		X
	Vernis	X		X

2.2 RÉSULTATS IMPORTANTS

Le Tableau B montre que l'ascension capillaire est inversement proportionnelle à l'espacement et varie selon le type de surface. Pour un espacement de 0.5 mm, l'ascension capillaire mesurée pour la plupart des finis se situe entre 2.2 mm et 7.9 mm. Pour le verre, cette valeur peut être aussi grande que 14.5 mm.

L'angle de contact calculé se situe entre 71.5° et 85.6° pour tous les échantillons, sauf le verre qui a un angle de contact de 59.9°.

La hauteur maximale entre deux surfaces horizontales qui permet l'adhésion de l'eau de pluie entre celles-ci oscille entre 5.2 mm et 8.8 mm.

TABLEAU B: RÉSULTATS DES ESSAIS

DESCRIPTION DE LA SURFACE		ANGLE DE CONTACT	ASCENSION CAPILLAIRE (mm)						
			ESPACEMENT						
MATÉRIAU	FINI		0.25mm	0.5mm	1mm	1.5mm	2mm	3mm	4mm
Pin blanc	Peinture Cilux à l'huile brillante	76.5°	13.5	6.8	3.4	2.3	1.7	1.1	0.8
Pin blanc	Peinture Denalt latex, semi-lustrée	74.3°	15.7	7.8	3.9	2.6	2.0	1.3	1.0
Pin blanc	Vernis Denalt fini plastic	77.4°	12.6	6.3	3.2	2.1	1.6	1.1	0.8
Pin blanc	Naturel	80.2°	9.9	4.9	2.5	1.6	1.2	0.8	0.6
Pin blanc	Vernis Denalt latex semi-lustre	81.5°	8.6	4.3	2.1	1.4	1.1	0.7	0.5
Pin blanc	Apprêt mat à l'huile	82.3°	7.8	3.9	1.9	1.3	1.0	0.6	0.5
Pin blanc	Traité Pentox à l'huile	>90.0°	*	*	*	*	*	*	*
Epinette	Naturel	78.6°	11.5	5.7	2.9	1.9	1.4	1.0	0.7
Epinette	Traité, Pentox huile	>90.0°	*	*	*	*	*	*	*
Cèdre	Naturel	81.2°	8.9	4.4	2.2	1.5	1.1	0.7	0.6
Contre-plaqué	Peinture Denalt latex semi-lustre	71.5°	18.4	9.2	4.6	3.1	2.3	1.5	1.1
Contre-plaqué	Peinture Cilex à l'huile, brillant	77.4°	12.6	6.3	3.2	2.1	1.6	1.1	0.8
Contre-plaqué	Vernis Denalt fini plastic	79.3°	10.8	5.4	2.7	1.8	1.3	0.9	0.7
Plywood	Apprêt Mat. à l'huile	80.3°	9.8	4.9	2.4	1.6	1.2	0.8	0.6
Plywood	Naturel	80.7°	9.4	4.7	2.3	1.6	1.2	0.8	0.6
Plywood	Vernis Denalt latex semi-lustre	83.3°	6.8	3.4	1.7	1.1	0.8	0.6	0.4
Plywood	Traité Pentox à l'huile	>90.0°	*	*	*	*	*	*	*
Panneau gaufré	Naturel côté ext.	74.2°	15.6	7.9	3.9	2.6	2.0	1.3	1.0
	côté int.	81.3°	8.8	4.4	2.2	1.5	1.1	0.7	0.5
Aluminium	Anodisé	76.3°	13.7	6.9	3.4	2.3	1.7	1.1	0.9
Aluminium	Naturel	76.9°	13.1	6.6	3.3	2.2	1.6	1.1	0.8
Aluminium	Peinturé	78.9°	11.2	5.6	2.8	1.9	1.4	0.9	0.7
PVC	Blanc	82.4°	7.7	3.8	1.9	1.3	1.0	0.6	0.5
PVC	Brun	82.6°	7.5	3.7	1.9	1.2	0.9	0.6	0.5
Plexiglass	Naturel	82.1°	8.0	4.0	2.0	1.3	1.0	0.7	0.5
Tôle galvanisée	Naturel	85.6°	4.4	2.2	1.1	0.7	0.6	0.4	0.3
Acrylique	Naturel	84.7°	5.4	2.7	1.3	0.9	0.7	0.4	0.3
Verre	Clair	59.9°	29.1	14.5	7.3	4.8	3.6	2.4	1.8
Mortier		81.3°	8.8	4.4	2.2	1.5	1.1	0.7	0.5
Brique	Argile	75-85°							
Béton		75-85°							

* Dépression capillaire

TABLEAU B: SUITE

DESCRIPTION DE LA SURFACE		ANGLE DE CONTACT	ASCENSION CAPILLAIRE (mm)						
			ESPACEMENT						
MATÉRIAU	FINI		0.25mm	0.5mm	1mm	1.5mm	2mm	3mm	4mm
Systèmes hybrides									
Verre vs Aluminium	Clair	62.5°	---	---	---	---	3.3	2.2	1.7
	Peinturé	82.7°	---	---	---	---	0.9	0.6	0.5
Verre vs Aluminium	Clair	64.0°	---	---	---	---	3.2	2.1	1.6
	Anodisé	79.8°	---	---	---	---	1.3	0.9	0.6
Verre vs Aluminium	Clair	65.2°	---	---	---	---	3.0	2.0	1.5
	Mill finish	80.1°	---	---	---	---	1.2	0.8	0.6
Verre vs PVC	Clair	67.3°	---	---	---	3.7	2.8	1.9	1.4
	Blanc	74.5°	---	---	---	2.6	1.9	1.3	1.0
Verre vs Pin blanc	Clair	61.2°	---	---	---	---	3.5	2.3	1.7
	Naturel	78.6°	---	---	---	---	1.4	1.0	0.7
Verre vs Pin blanc	Clair	63.2°	---	---	---	---	3.3	2.2	1.6
	Verni Denalt fini plastique	76.4°	---	---	---	---	1.7	1.1	0.9

2.3 CONCLUSIONS

On constate que:

- Peu importe la surface, l'ascension capillaire pour les espacements supérieurs à 5 mm, est négligeable.

- Les rencontres verre versus verre sont à proscrire car, l'ascension capillaire pour ce type de surface est pratiquement deux fois supérieure à n'importe quel autre fini mis à l'essai.

- L'eau de pluie se comporte comme un liquide non-mouillant (mercure par exemple) sur du bois traité au préservatif, c'est-à-dire qu'il y a une dépression. Cependant, cette propriété a tendance à disparaître à long terme.

- L'eau de pluie n'adhérera pas entre deux surfaces horizontales si leur distance est supérieure à 8.8 mm (*).

- La hauteur maximale que l'eau de pluie peu atteindre sur une surface horizontale est de 5.2 mm (*).

* **Pour les matériaux mis à l'essai.**

3. INTRODUCTION

Les problèmes engendrés par l'eau sous toutes ses formes constituent l'un des phénomènes les plus mals connus de la construction.

L'utilisation du concept de l'"écran pluvial" est certainement la technique qui permet le mieux d'éliminer ou de réduire la pénétration d'eau à travers les composantes de l'enveloppe d'un bâtiment. Cette technique consiste à minimiser toutes les forces qui peuvent agir sur l'eau de pluie de façon à prévenir la pénétration d'eau. Les forces en causes sont: l'écart de pression, la gravité, le mouvement d'air, l'inertie, la tension de surface et la capillarité. Parmi les forces précitées, la capillarité est certainement le phénomène de transfert d'eau sous forme liquide qui est le plus mal connu de la construction et celle-ci fait l'objet de la présente étude.

Le phénomène de capillarité a été mis en évidence depuis longtemps. Le phénomène est relié aux canalisations (tubes, espace plan) de faible espacement dont une extrémité touche l'eau. Ainsi, dans le cas d'un tube de faible diamètre, vertical, et dont la partie inférieure touche l'eau, celle-ci remplit le tube jusqu'à une certaine hauteur.

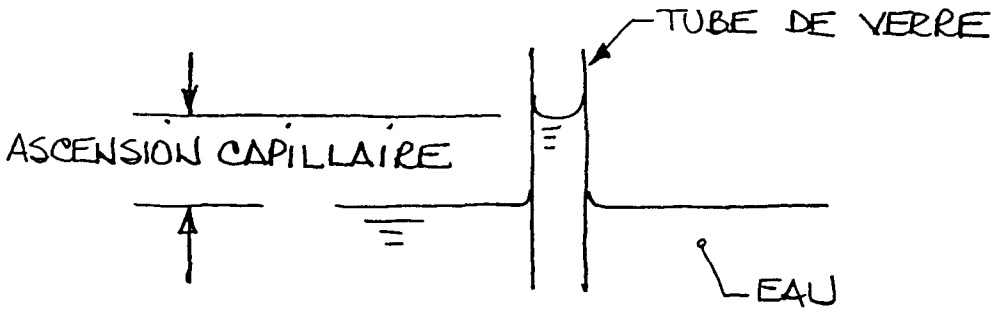


FIGURE 1: ASCENSION CAPILLAIRE

La hauteur d'ascension capillaire dans un tube de diamètre ϕ, ou dans une fente de largeur (d_2) est fonction de deux paramètres: le premier étant la tension superficielle du liquide (σ), alors que le deuxième est l'angle de contact (Θ), lequel dépend de la nature du liquide et des propriétés de surface du solide.

Le phénomène d'ascension capillaire est présent dans toutes les applications où il y a présence d'une fente et où il y a ou peut avoir présence d'eau entre deux matériaux de même nature ou de nature différente. Les principales applications visées par ce travail de recherche sont les revêtements (ex.: briques, panneaux de béton préfabriqués, déclins (aluminium, PVC, bois)) et les ouvertures (portes et fenêtres).

3.1 DESCRIPTION DES ÉCHANTILLONS (PHOTO 1)

Les échantillons utilisés ont des dimensions minimales de 50 mm par 80 mm. Les échantillons de bois peints, vernis ou traités de même que les scellants ont été préparés un mois avant les essais, conditionnés à 20°C et nettoyés avec un linge humide avant le test.

Les échantillons d'aluminium, de verre, d'acrylique, de polycarbonate, brique et de mortier ont été nettoyés à l'acétone et conditionnés à 20°C aussi.

3.2 ANALYSE DE L'EAU DE PLUIE UTILISÉE

L'eau utilisée est de l'eau de pluie recueillie du 1er septembre au 1er novembre 1992, à Varennes. Deux propriétés importantes ont été déterminées, la tension superficielle et la masse volumique à 20°C.

La tension superficielle a été mesurée sur dix échantillons avec un tensiomètre de surface "Fisher: modèle 21" conformément à la norme ASTM D-1331. La moyenne des résultats donne 71.1 dynes/cm pour l'eau de pluie comparativement à 72.0 dynes/cm pour l'eau distillée, la qualité de l'eau a donc peu d'impact sur cette propriété.

La masse volumique de l'eau de pluie a été évaluée à 1g/cm^3 à 20°C.

4. EXPÉRIMENTATION

Les essais sont divisés en trois parties:

1- Mesure de l'ascension capillaire
2- Mesure de la hauteur maximale entre deux surfaces horizontales permettant l'adhésion de l'eau.
3- Mesure de la hauteur maximale que l'eau de pluie peut atteindre sur une surface horizontale.

4.1 MESURE DE L'ASCENSION CAPILLAIRE ET DÉTERMINATION DE L'ANGLE DE CONTACT

4.1.1 THÉORIE

La théorie visant la détermination de l'ascension capillaire entre deux plaques parallèles est développée à l'annexe "A", on retient l'équation suivante:

$$h = \frac{2\ \sigma\ \cos\Theta}{\rho\ g\ d} \qquad \text{(équation (1))}$$

où:

h = ascension capillaire
σ = tension de surface à 20°C, soit 71.1 dynes/cm
Θ = angle de contact
ρ = masse volumique à 20°C, soit 1000.1g/cm^3
g = accélération due à la gravité, soit 9.81 m/s^2
d = espacement entre les deux surfaces

Pour un espacement donné, l'ascension capillaire est mesurée, laissant comme seul inconnu l'angle de contact.

4.1.2 MÉTHODOLOGIE (Dessin # 1)

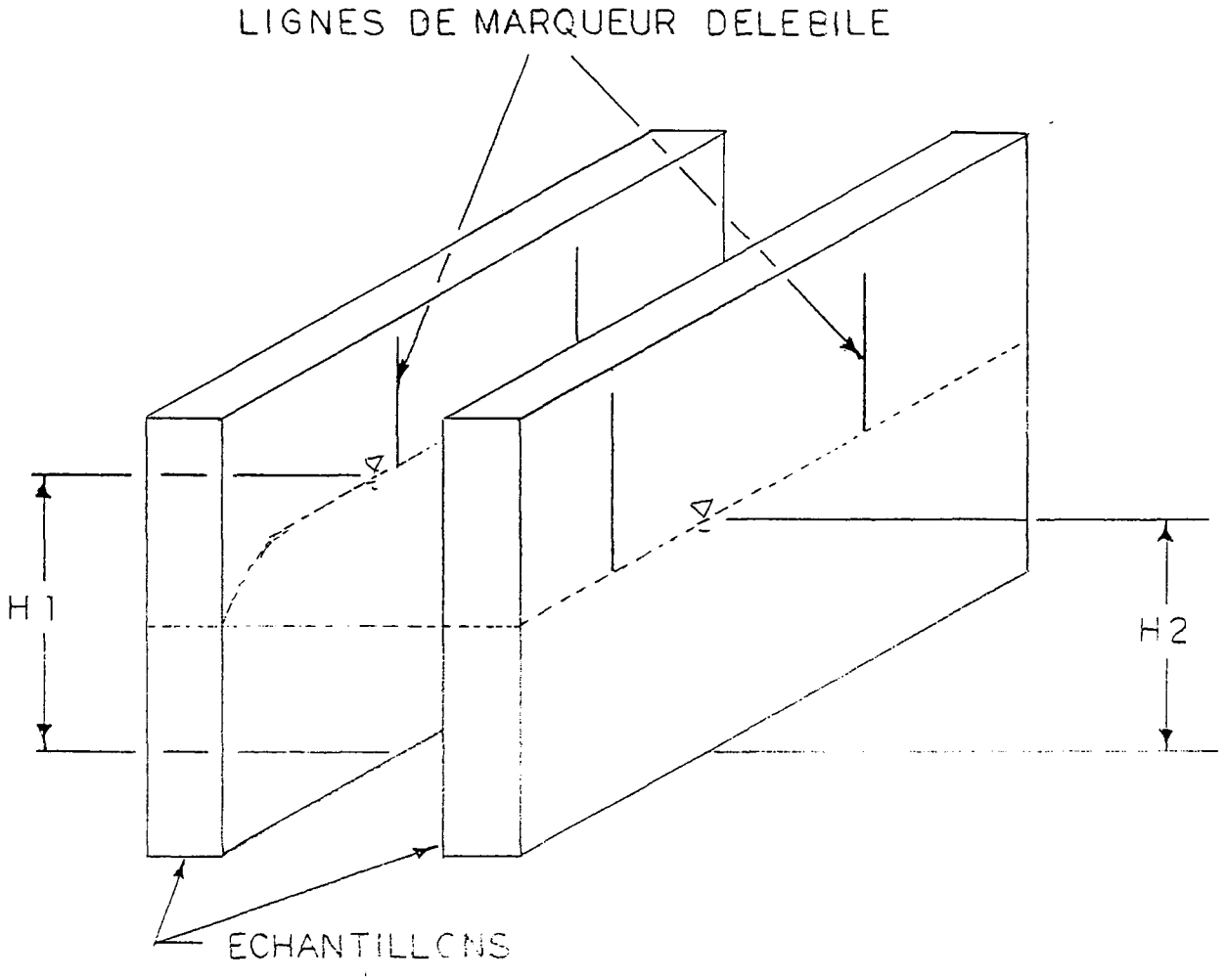
Pour cet essai, les échantillons sont testés par paire du même type de fini ou différents finis (hybride). Des lignes de stylo-feutre extra-fines et délébiles sont tracés sur chacune des faces de la paire d'échantillons (photo # 2). Les échantillons sont séparés par une jauge d'espacement à chaque extrémité et maintenus par des serres. L'ensemble est alors plongé dans un bassin d'eau pendant deux minutes (Photo # 3). Les échantillons sont ensuite sortis et séparés avec soin. L'eau ayant effacé une partie des lignes, il est alors possible de déterminer l'ascension capillaire en faisant la différence des hauteurs entre les faces opposées des échantillons (Photo # 4).

Cette procédure est répétée plusieurs fois pour le même espacement et pour des espacements différents. L'angle de contact est calculé à partir de l'équation (1)

$$h = \frac{2\sigma \cos\Theta}{\rho g d} \qquad \text{d'où:} \quad \cos\Theta = \frac{h \rho g d}{2\sigma}$$

4.1.3 RÉSULTATS

Le tableau 1 donne pour chaque échantillon, les valeurs de l'angle de contact calculé à partir de la formule expliquée en 4.1.1 et l'ascension capillaire pour différentes distances entre les plaques.



H1-H2 = ASCENSION CAPILLAIRE

▽ = NIVEAU DE L'EAU

AIR INS Inc.		
titre / title: MESURE DE L'ASCENSION		
dessiné par / dwg. by: PC		feuille no. / sheet no. de / of
vérifié par / chk. by		légende no. / mtl. list no.
échelle / scale	date	dessin no. / dwg. no. 1

TABLEAU 1: RÉSULTATS DES ESSAIS

DESCRIPTION DE LA SURFACE		ANGLE DE CONTACT	ASCENSION CAPILLAIRE (mm)						
			ESPACEMENT						
MATÉRIAU	FINI		0.25mm	0.5mm	1mm	1.5mm	2mm	3mm	4mm
Pin blanc	Peinture Cilux à l'huile brillante	76.5°	13.5	6.8	3.4	2.3	1.7	1.1	0.8
Pin blanc	Peinture Denalt latex, semi-lustrée	74.3°	15.7	7.8	3.9	2.6	2.0	1.3	1.0
Pin blanc	Vernis Denalt fini plastic	77.4°	12.6	6.3	3.2	2.1	1.6	1.1	0.8
Pin blanc	Naturel	80.2°	9.9	4.9	2.5	1.6	1.2	0.8	0.6
Pin blanc	Vernis Denalt latex semi-lustre	81.5°	8.6	4.3	2.1	1.4	1.1	0.7	0.5
Pin blanc	Apprêt mat à l'huile	82.3°	7.8	3.9	1.9	1.3	1.0	0.6	0.5
Pin blanc	Traité Pentox à l'huile	>90.0°	*	*	*	*	*	*	*
Epinette	Naturel	78.6°	11.5	5.7	2.9	1.9	1.4	1.0	0.7
Epinette	Traité, Pentox huile	>90.0°	*	*	*	*	*	*	*
Cèdre	Naturel	81.2°	8.9	4.4	2.2	1.5	1.1	0.7	0.6
Contre-plaqué	Peinture Denalt latex semi-lustre	71.5°	18.4	9.2	4.6	3.1	2.3	1.5	1.1
Contre-plaqué	Peinture Cilex à l'huile, brillant	77.4°	12.6	6.3	3.2	2.1	1.6	1.1	0.8
Contre-plaqué	Vernis Denalt fini plastic	79.3°	10.8	5.4	2.7	1.8	1.3	0.9	0.7
Plywood	Apprêt Mat. à l'huile	80.3°	9.8	4.9	2.4	1.6	1.2	0.8	0.6
Plywood	Naturel	80.7°	9.4	4.7	2.3	1.6	1.2	0.8	0.6
Plywood	Vernis Denalt latex semi-lustre	83.3°	6.8	3.4	1.7	1.1	0.8	0.6	0.4
Plywood	Traité Pentox à l'huile	>90.0°	*	*	*	*	*	*	*
Panneau gauffré	Naturel côté ext.	74.2°	15.6	7.9	3.9	2.6	2.0	1.3	1.0
	côté int.	81.3°	8.8	4.4	2.2	1.5	1.1	0.7	0.5
Aluminium	Anodisé	76.3°	13.7	6.9	3.4	2.3	1.7	1.1	0.9
Aluminium	Naturel	76.9°	13.1	6.6	3.3	2.2	1.6	1.1	0.8
Aluminium	Peinturé	78.9°	11.2	5.6	2.8	1.9	1.4	0.9	0.7
PVC	Blanc	82.4°	7.7	3.8	1.9	1.3	1.0	0.6	0.5
PVC	Brun	82.6°	7.5	3.7	1.9	1.2	0.9	0.6	0.5
Plexiglass	Naturel	82.1°	8.0	4.0	2.0	1.3	1.0	0.7	0.5
Tôle galvanisée	Naturel	85.6°	4.4	2.2	1.1	0.7	0.6	0.4	0.3
Acrylique	Naturel	84.7°	5.4	2.7	1.3	0.9	0.7	0.4	0.3
Verre	Clair	59.9°	29.1	14.5	7.3	4.8	3.6	2.4	1.8
Mortier		81.3°	8.8	4.4	2.2	1.5	1.1	0.7	0.5
Brique	Argile	75-85°							
Béton		75-85°							

* Dépression capillaire

TABLEAU 1: SUITE

DESCRIPTION DE LA SURFACE		ANGLE DE CONTACT	ASCENSION CAPILLAIRE (mm)						
			ESPACEMENT						
MATÉRIAU	FINI		0.25mm	0.5mm	1mm	1.5mm	2mm	3mm	4mm
Systèmes hybrides									
Verre vs Aluminium	Clair	62.5°	---	---	---	---	3.3	2.2	1.7
	Peinturé	82.7°	---	---	---	---	0.9	0.6	0.5
Verre vs Aluminium	Clair	64.0°	---	---	---	---	3.2	2.1	1.6
	Anodisé	79.8°	---	---	---	---	1.3	0.9	0.6
Verre vs Aluminium	Clair	65.2°	---	---	---	---	3.0	2.0	1.5
	Mill finish	80.1°	---	---	---	---	1.2	0.8	0.6
Verre vs PVC	Clair	67.3°	---	---	---	3.7	2.8	1.9	1.4
	Blanc	74.5°	---	---	---	2.6	1.9	1.3	1.0
Verre vs Pin blanc	Clair	61.2°	---	---	---	---	3.5	2.3	1.7
	Naturel	78.6°	---	---	---	---	1.4	1.0	0.7
Verre vs Pin blanc	Clair	63.2°	---	---	---	---	3.3	2.2	1.6
	Verni Denalt fini plastique	76.4°	---	---	---	---	1.7	1.1	0.9

4.1.4 DISCUSSIONS ET OBSERVATIONS

De tous les facteurs, c'est la distance entre les surfaces qui influencera le plus la montée capillaire et ce de façon inversement proportionnelle à la distance entre les surfaces. Il est donc facile de prévoir l'ascension pour les distances qui ne figurent pas au tableau des résultats, les autres facteurs étant des constantes pour un fini de surface donné.

De façon générale, on remarque que pour des espacements supérieurs à 5 mm, l'ascension capillaire est pratiquement négligeable. Lorsque les surfaces se rapprochent, il y a relativement peu de variation selon le type de fini, à quelques exceptions près, et il n'est pas vraiment possible d'établir des tendances générales selon le type de matériau ou de fini.

On a pu constater que les résultats pour le verre étaient très influencés par les impuretés laissées par les doigts, mais il ressort quand même qu'il est le matériau avec l'angle de contact le plus faible, donc l'ascension capillaire la plus notable pour un espacement entre les surfaces données; les contacts verre/verre seraient donc à éviter.

Les bois traités au préservatif ont pour effet de rendre le liquide non-mouillant, c'est à dire que l'eau de pluie se comporte comme le mercure, par exemple, et aura pour effet de ne pas monter mais descendre entre les surfaces. Il a cependant été observé que le "gras" laissé par le Pentox avait tendance à être lavé par l'eau, d'où l'élimination de cette propriété à long terme.

Dans les matériaux entrant dans la conception des fenêtres ou des revêtements, le PVC a l'angle de contact le plus grand, la montée capillaire est donc plus faible comparativement au bois et à l'aluminium, peut importe le fini.

Le mortier, le béton et la brique d'argile ont une ascension capillaire normale, cependant, dû à son comportement fragile, des fissures apparaîtront inévitablement et une migration d'eau par capillarité sera à prévoir.

4.2 HAUTEUR MAXIMALE ENTRE DEUX SURFACES HORIZONTALES QUI PERMET L'ADHÉSION DE L'EAU DE PLUIE ENTRE CELLES-CI

Dans le cas d'un capillaire ou d'une toute petite fente qui seraient positionnés horizontalement (voir figure 2), l'avancement de l'eau se fait sur toute la longueur. Le rayon du capillaire où la largeur de fente ne joue alors aucun rôle prépondérant.

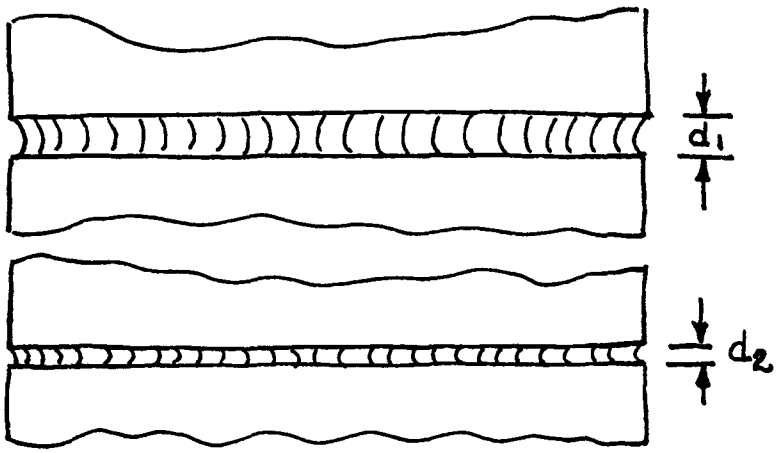


FIGURE 2: PROGRESSION HORIZONTALE

Il existe quand même une largeur de fente (d) qui permet l'adhésion de l'eau sur les deux surfaces solides selon le type de fini; celle-ci sera déterminée dans la présente partie.

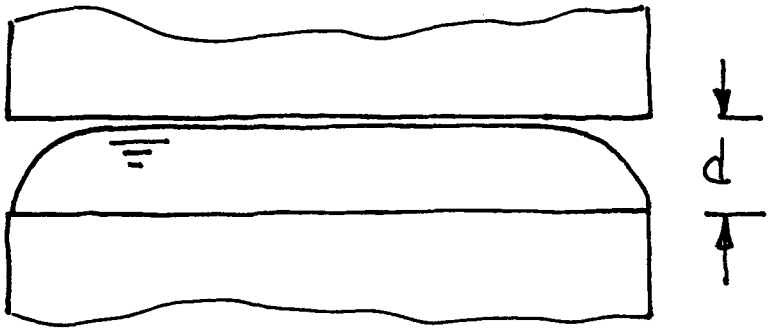


FIGURE 3: DISTANCE PERMETTANT L'ADHÉSION

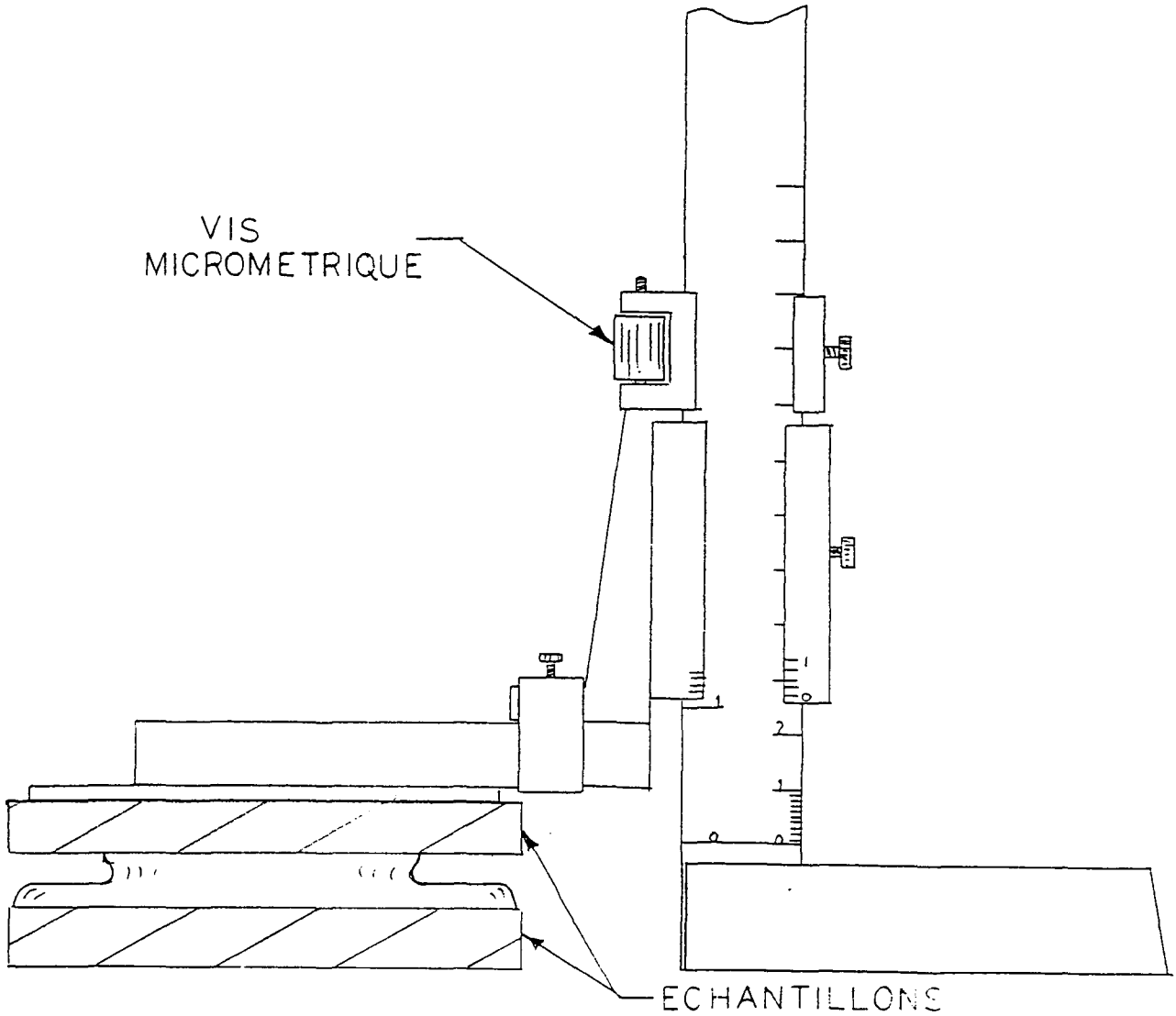
4.2.1 MÉTHODOLOGIE (Dessin # 2)

Pour cette partie aussi, les échantillons sont testés par paire de même nature ou de différentes natures (systèmes hybrides).

Un des échantillon est fixé à la table et l'autre est fixé au plateau mobile d'un vernier vertical, les deux échantillons étant exactement parallèles. Une mesure de la hauteur est prise lorsque les deux plaques se touchent (h_i) (Photo # 5), la plaque supérieure est remontée et cinq centimètres cubes d'eau de pluie sont déposés sur la plaque inférieure (Photo # 6). On abaisse ensuite l'échantillon jusqu'à ce qu'il entre en contact avec l'eau. Cette position est maintenue pour deux minutes et la plaque est alors remontée à un taux d'environ 2 mm par minute à l'aide de la vis micrométrique en arrêtant tout mouvement lorsqu'un décrochement semble imminent (Photo # 7 et 8). Lors du décrochement, une mesure de la hauteur est prise (h_f) et la différence entre "h_f" et "h_i" correspond à la hauteur maximale permettant l'adhésion.

4.2.2 RÉSULTATS

Le tableau 2 donne les distances entre les plans parallèles permettant l'adhésion pour chaque type de matériau ou de fini.



AIR INS Inc.		
titre / title: HAUTEUR PERMETTANT ADHESION		
dessiné par / dwg. by: RC		feuille no. / sheet no. de / of
vérifié par / chk. by		légende no. / mtl. list no.
échelle / scale	date	dessin no. / dwg. no. 2

TABLEAU 2

DESCRIPTION DE LA SURFACE		HAUTEUR DE L'EAU AU REPOS (mm)	DISTANCE PERMETTANT L'ADHÉSION (mm)
MATÉRIAU	FINI		
Pin blanc	Vernis Denalt latex semi-lustre	2.9	6.3
Pin blanc	Peinture Cilux à l'huile brillante	3.3	7.1
Pin blanc	Apprêt mat à l'huile	3.4	7.8
Pin blanc	Naturel	3.4	6.7
Pin blanc	Vernis Denalt fini plastique	3.5	7.8
Pin blanc	Peinture Denalt latex semi-lustre	3.7	6.7
Pin blanc	Traité, Pentox à l'huile	4.5	7.7
Epinette	Naturel	4.0	7.1
Epinette	Traité Pentox à l'huile	4.4	7.6
Cèdre	Naturel	3.0	6.4
Contre-plaqué	Naturel	2.2	5.2
Contre-plaqué	Peinture Cilux à l'huile brillant	2.8	7.5
Contre-plaqué	Vernis Denalt latex semi-lustre	2.9	6.7
Contre-plaqué	Peinture Denalt latex semi-lustre	3.4	6.0
Contre-plaqué	Apprêt mat à l'huile	3.5	7.5
Contre-plaqué	Vernis Denalt fini plastique	3.8	8.0
Contre-plaqué	Traité Pentox à l'huile	4.3	7.5
Panneau gaufré	Naturel côté ext.	3.2	7.2
Panneau gaufré	Naturel côté int.	3.4	7.6
Panneau gaufré	Traité Pentox à l'huile	5.2	8.8
Aluminium	Naturel	2.6	6.7
Aluminium	Peint	3.4	7.0
Aluminium	Anodisé	3.6	6.8
PVC	Blanc	2.8	6.0
PVC	Brun	2.9	5.9
Plexiglass	Naturel	3.4	7.0
Acrylique	Naturel	3.2	6.5
Tôle galvanisée	Naturel	3.7	7.2
Verre	Clair	1.2	5.2
Scellant	Dymonic de Tremco	3.5	6.5
Scellant	TRS 600 de Tremco	3.9	7.9
Scellant	Proglaze de Tremco	4.6	8.0
Brique	Argile	2.9	6.7
Mortier		3.0	6.9
Béton		3.3	6.7

TABLEAU 2

DESCRIPTION DE LA SURFACE		HAUTEUR DE L'EAU AU REPOS (mm)	DISTANCE PERMETTANT L'ADHÉSION (mm) *
MATÉRIAU	FINI		
Système hybride			
Verre et Aluminium	Clair	--	7.3
	Peint	--	6.2
Verre et Aluminium	Clair	--	7.1
	Anodisé	--	6.1
Verre et Aluminium	Clair	--	7.0
	Naturel	--	6.0
Verre et PVC	Clair	--	6.8
	Blanc	--	6.2
Verre et Pin blanc	Clair	--	7.0
	Naturel	--	6.3
Verre et Pin blanc	Clair	--	7.7
	Verni Denalt fini plastique	--	6.5

* Plaque supérieure

4.2.3 DISCUSSIONS ET OBSERVATIONS

De façon générale les résultats varient de 5.2 mm pour le verre à 8.7 mm pour le panneau gaufré traité.

L'idée de base est que si une cavité comportant une séparation de deux surfaces est plus petite que celle indiquée au tableau 2, il n'y aura pas écoulement de l'eau hors de cette cavité possible.

Par exemple, pour la conception d'une fenêtre en pin, la hauteur des cales d'assise devrait dépasser 7 mm (voir tableau 2 verre vs pin blanc) pour que l'eau puisse s'évacuer de la cavité sous le vitrage. Les cales les plus utilisées actuellement ont 1/4" d'épaisseur (6.4 mm) et ne permettent pas un drainage adéquat dans l'exemple précité.

4.3 HAUTEUR MAXIMALE QUE L'EAU DE PLUIE PEUT ATTEINDRE SUR UNE SURFACE HORIZONTALE

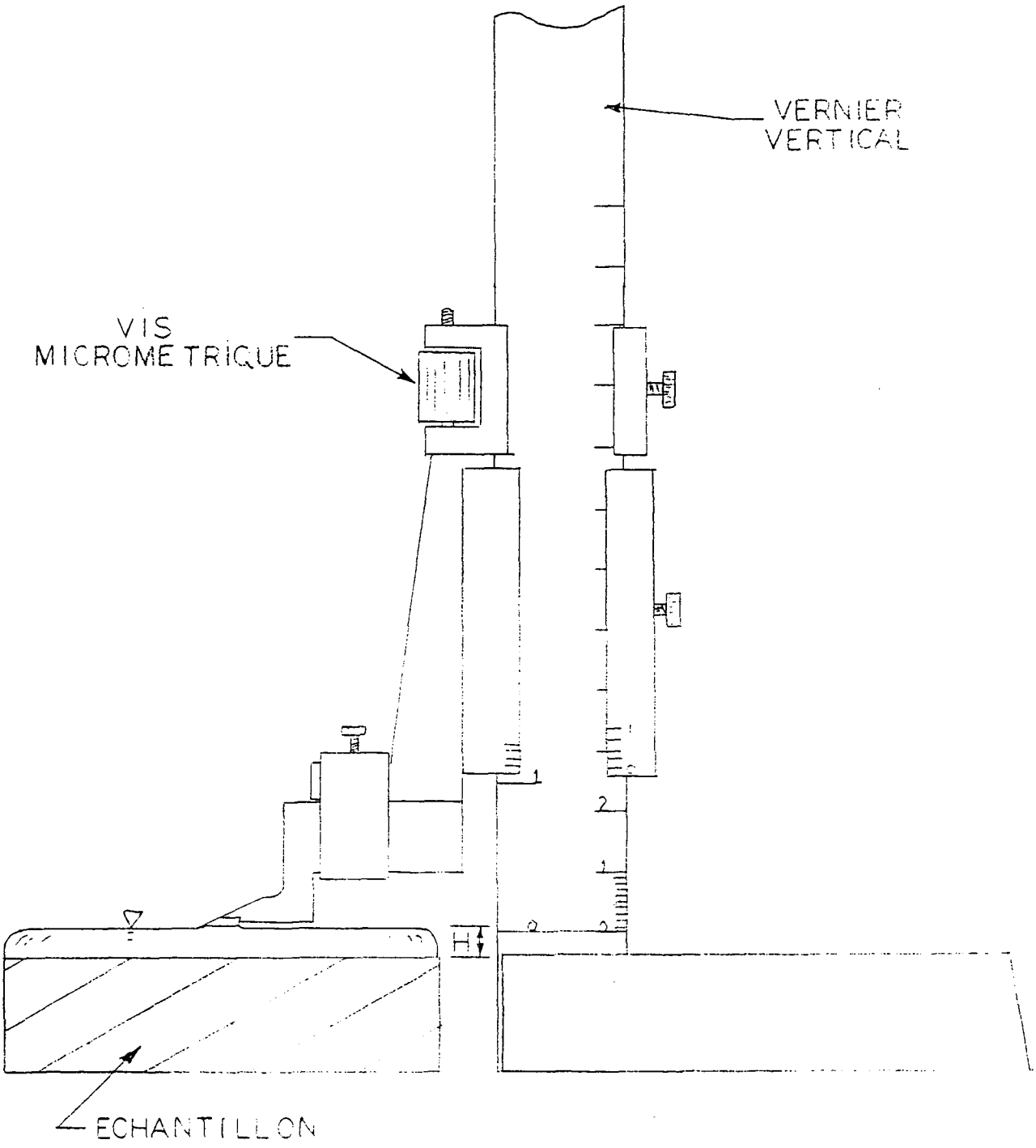
Lorsque de l'eau est versée sur une surface, elle atteint une hauteur qui permet la rétention de l'eau. Tout surplus aura pour effet de rompre l'équilibre et l'eau s'étalera sur une plus grande surface ou s'échappera du plan horizontal en maintenant toujours la même hauteur d'équilibre.

4.3.1 MÉTHODOLOGIE (Dessin # 3)

L'échantillon est fixé à la table avec la face à tester vers le haut. On prend note de la hauteur (hi) de la surface à l'aide d'un vernier vertical (Photo # 9). Le vernier est relevé et cinq centimètres cubes d'eau de pluie sont versées sur le spécimen. A l'aide de la vis micrométrique le vernier est descendu jusqu'à ce qu'il touche l'eau (Photo # 10) et la hauteur est notée (h_f). La différence entre "h_f" et "h_i" donne la hauteur d'équilibre de l'eau de pluie au repos.

4.3.2 RÉSULTATS

Le tableau 2 donne les résultats d'essais.



H: HAUTEUR AU REPOS DE L'EAU DE PLUIE SUR UNE SURFACE HORIZONTALE

AIR INS Inc.		
titre / title: NIVEAU DE L'EAU AU REPOS		
dessiné par / dwg. by: RC		feuille no. / sheet no. de / of
vérifié par / chk. by		légende no. / mtl. list no.
échelle / scale	date	dessin no. / dwg. no. 3

4.3.3 DISCUSSIONS ET OBSERVATIONS

Les valeurs varient de 1.2 mm pour le verre à 5.21 mm pour le panneau gaufré. Ici aussi, les valeurs sont beaucoup influencées par la propreté de la surface.

5.0 APPLICATIONS

Prenons par exemple, une fenêtre à battant de bois (pin), la fenêtre devrait être conçue en tenant compte de l'aspect capillaire et tension de surface (voir dessin # 4). L'espacement entre le seuil et le volet devrait être supérieur à la distance permettant l'adhésion pin-pin soit 6.7 mm ou au moins supérieur à la hauteur de l'eau au repos sur le pin 3.4 mm. Si la distance est plus grande que 6.7 mm et que l'espace est rempli d'eau, l'eau s'évacuera aussitôt que l'alimentation cessera et elle atteindra une hauteur de 3.4 mm. Si la distance est plus petite que 6.7 mm, l'eau ne pourra plus évacuer la cavité déjà remplie. Pour une distance inférieure à 3.4 mm l'eau progressera dans l'espace et pourra même monter d'une hauteur qui est fonction de l'espacement entre les matériaux utilisés (tableau 1), et ce sans différentiel de pression. Le dessin # 5 illustre un concept volet/seuil qui serait souhaitable pour limiter les problèmes de rétention d'eau dûs à la capillarité.

Le même principe s'applique entre l'unité scellée et le volet c'est-à-dire l'épaisseur des cales d'assise (dessin # 6). Pour des fenêtres de PVC ou en aluminium (volet drainé) la cavité sous l'unité scellée est souvent remplie d'eau. De la même manière, si les cales sont trop minces (6.8 mm pour le verre vs PVC, voir tableau 2), l'eau adhèrera aux deux surfaces et ne s'évacuera pas sans la présence de force extérieure. La partie inférieure de l'unité scellée sera constamment immergée et sa durabilité affectée.

De même si l'eau remplit la cavité, le phénomène d'ascension capillaire entrera en jeu. L'infiltration d'eau pour une fenêtre coulissante est souvent engendrée par un phénomène de capillarité (dessin # 7). Les traverses inférieures des fenêtres coulissantes devraient être conçues pour minimiser ce phénomène.

Dans le cas d'une fissure, la progression de l'eau dans une fente presque horizontale, se fera tant qu'il y a alimentation d'eau ou, que la hauteur d'ascension capillaire (H) pour un espacement donné soit atteinte (dessin # 8). Cette fente restera pleine lorsque l'alimentation cessera et seules des forces extérieures pourront la vider. Prenons une fissure dans un mur de béton, la tension superficielle retient l'eau en place, si la pression dû au vent est supérieure, il y aura écoulement vers l'intérieur et ce le long de la face intérieure du mur. Il peut aussi avoir projection d'eau si des rafales de vent agissent le matériau contenant la fissure.

6. CONCLUSIONS

On constate que:

- Peu importe la surface, l'ascension capillaire pour les espacements supérieurs à 5 mm, est négligeable.

- Les rencontres verre versus verre sont à proscrire car, l'ascension capillaire pour ce type de surface est pratiquement deux fois supérieure à n'importe quel autre fini mis à l'essai.

- L'eau de pluie se comporte comme un liquide non-mouillant (mercure par exemple) sur du bois traité au préservatif, c'est-à-dire qu'il y a une dépression. Cependant, cette propriété a tendance à disparaître à long terme.

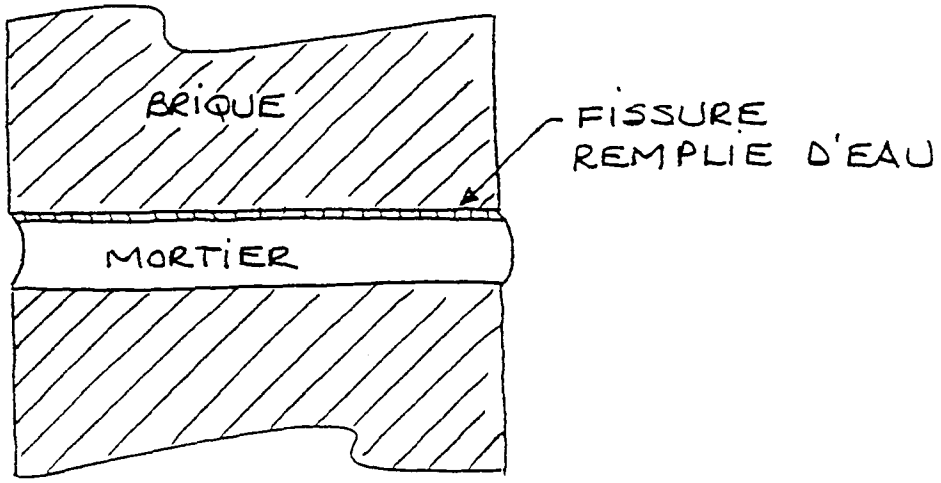
- L'eau de pluie n'adhérera pas entre deux surfaces horizontales si leur distance est supérieure à 8.8 mm (*).

- La hauteur maximale que l'eau de pluie peu atteindre sur une surface horizontale est de 5.2 mm (*).

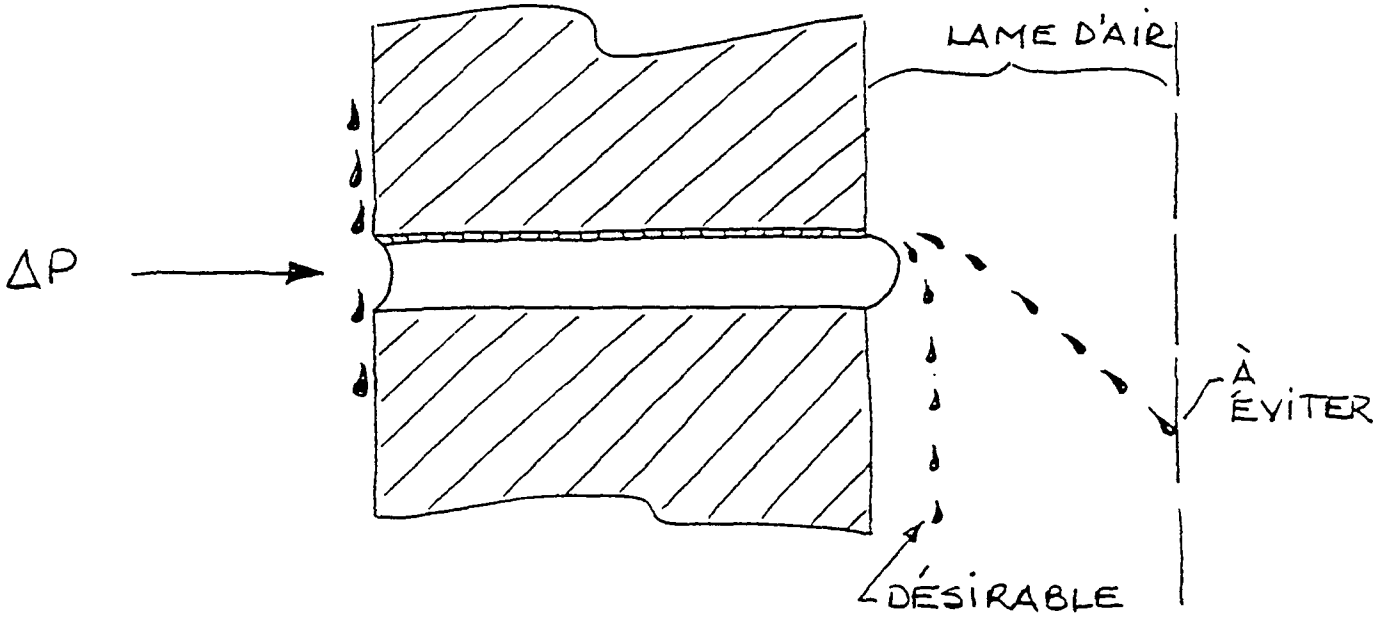
* **Pour les matériaux mis à l'essai.**

7. RECOMMANDATION

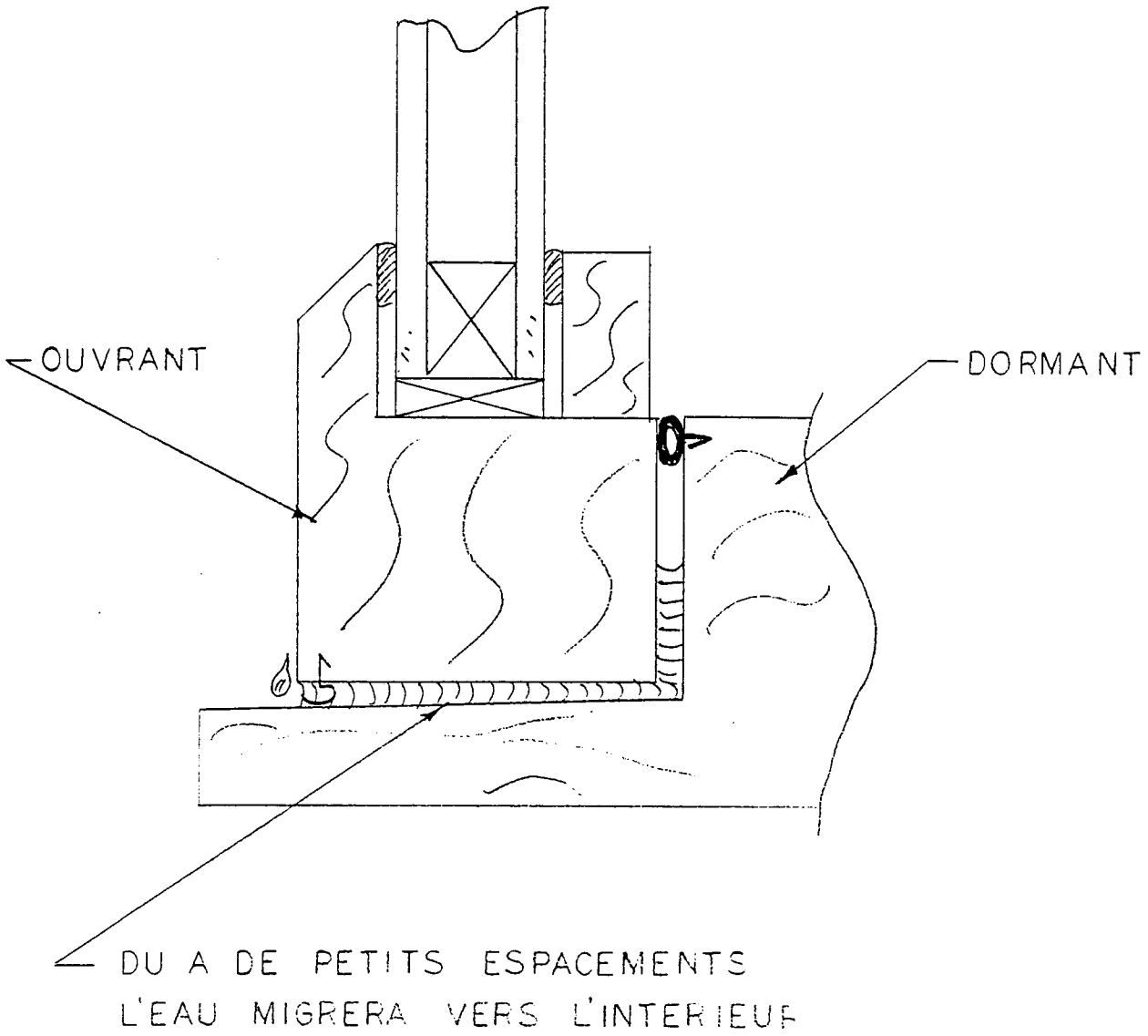
La capillarité permet à l'eau de pluie de s'accumuler dans une fissure. Néanmoins, le phénomène s'arrête aussitôt que l'on passe à une section transversale beaucoup plus grande (ex: partie arrière d'un mur de briques).



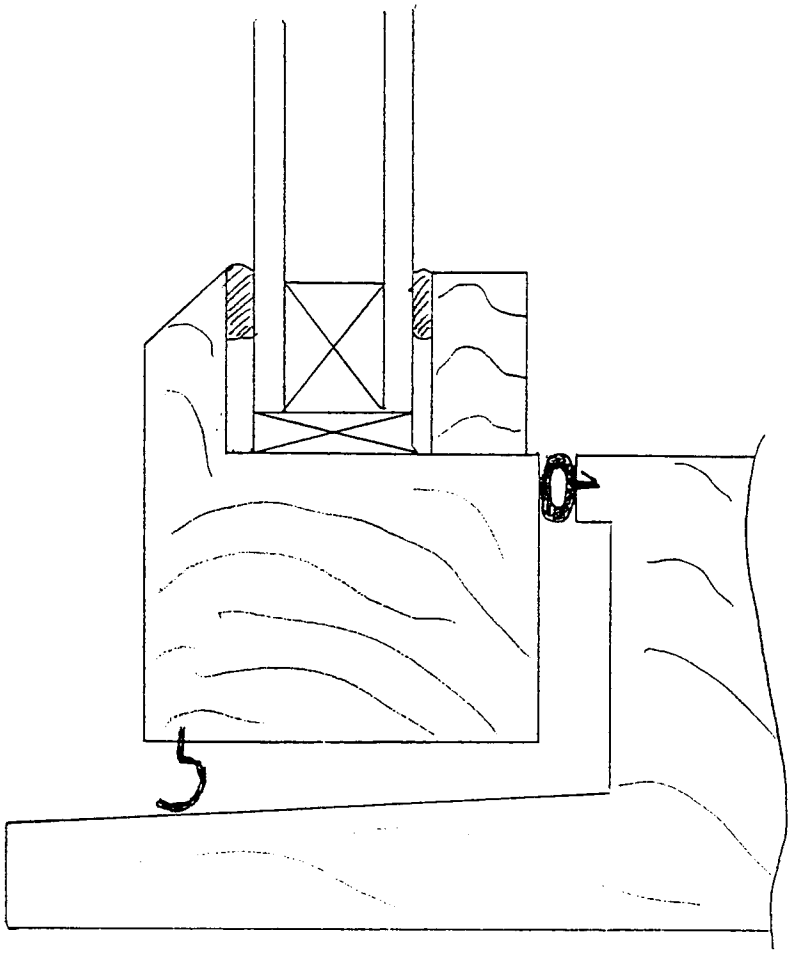
Il serait intéressant de déterminer quelle devrait être l'épaisseur de la lame d'air requise pour éviter que l'eau accumulée dans la fissure soit projetée sur le matériau suivant, lequel pourrait être le pare-air. Ce problème peut se produire lorsque le mur est assujetti à des variations de pression dans le temps (régime transitoire) ou lorsque le parement extérieur est soumis à un écart de pression constant.



L'étude pourrait porter sur des fentes planes et circulaires pleines d'eau, lesquelles seraient soumises à différents écarts de pression, avec comme objectif de mesurer la distance de projection horizontale des gouttes d'eau, le débit d'eau et la grosseur des gouttelettes projetées. Les matériaux visés seraient ceux que l'on utilise dans la construction du parement extérieur de l'enveloppe d'un bâtiment.

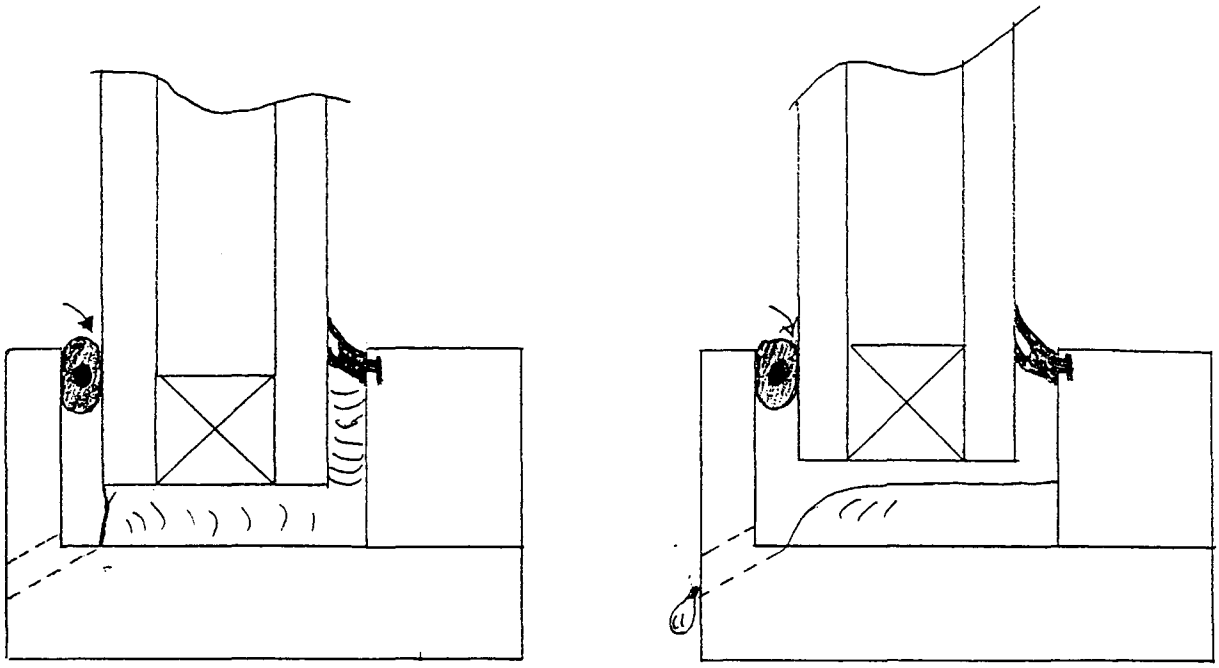


AIR INS Inc.			
titre / title	FENETRE EXISTANTE		
dessiné par / dwg. by	RC	feuille no. / sheet no.	de / of
vérifié par / chk. by		légende no. / mtl. list no.	
échelle / scale	date	dessin no. / dwg. no.	4



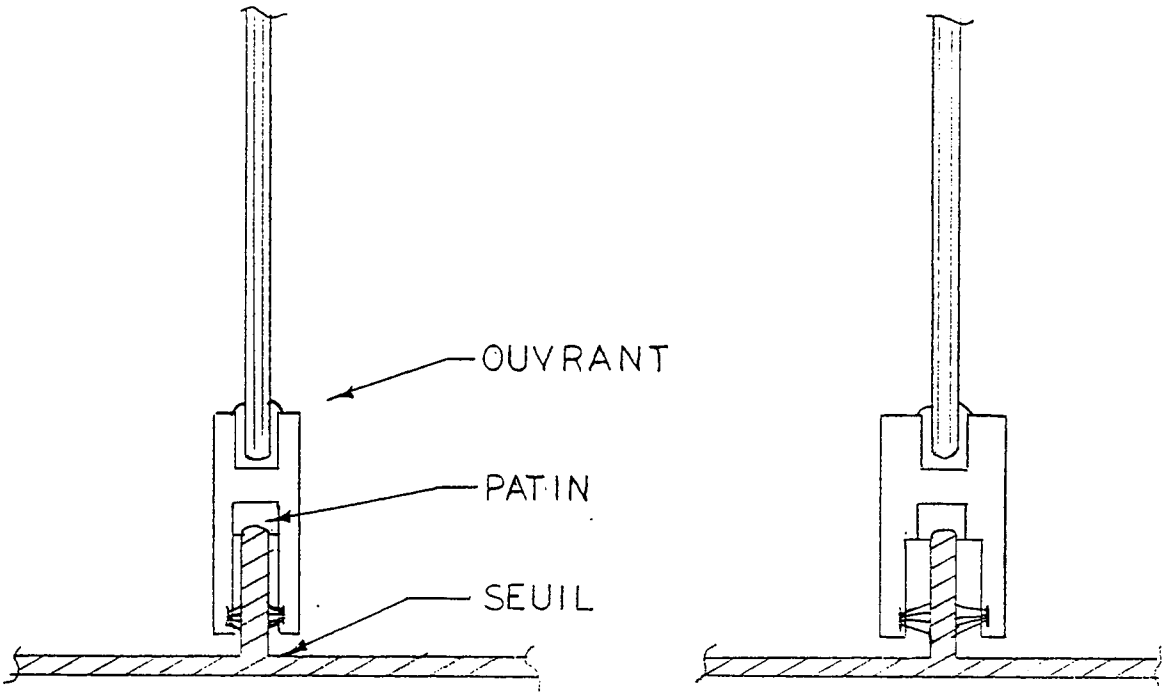
- ADHESION AUX DEUX SURFACES HORIZONTALES EST IMPOSSIBLE
- SI L'EAU REMPLIT L'ESPACE SOUS L'OUVRANT LA CAPILLARITE ENTRE LES DEUX SURFACES VERTICALES EST MINIMISEE PAR UNE DISTANCE PLUS GRANDE

AIR INS Inc.		
titre / title: FENETRE AMELIOREE		
dessiné par / dwg. by: RC	feuille no. / sheet no. de / of	
vérifié par / chk. by	légende no. / mtl. list no.	
échelle / scale	date	dessin no. / dwg. no. 5



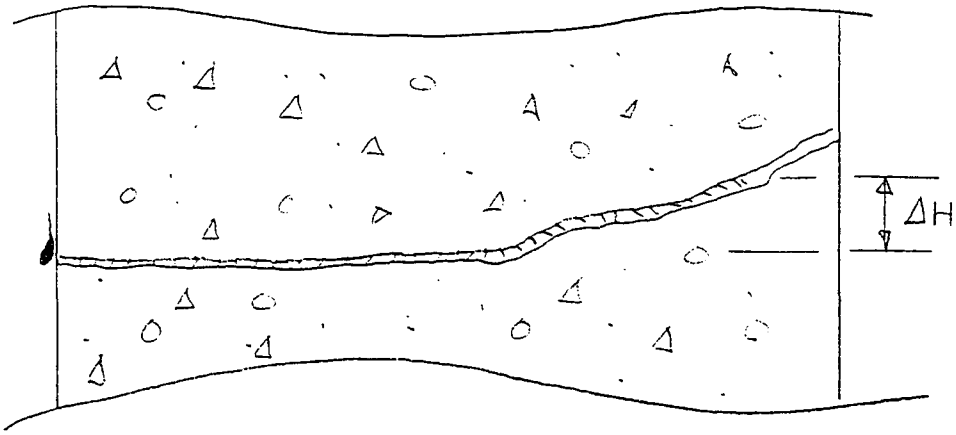
LORSQUE LES CALES D'ASSISES SONT TROP MINCES, L'EAU ADHERE AUX SURFACES. L'UNITE SCELLEE RESTE IMMERGEE ET IL EST POSSIBLE D'AVOIR ASCENSION CAPILLAIRE

AIR INS Inc.			
titre / title	EPAISSEUR DES CALES		
dessiné par / dwg. by	RC	feuille no. / sheet no.	de / of
vérifié par / chk. by		légende no. / mtl. list no.	
échelle / scale	date	dessin no. / dwg. no.	6



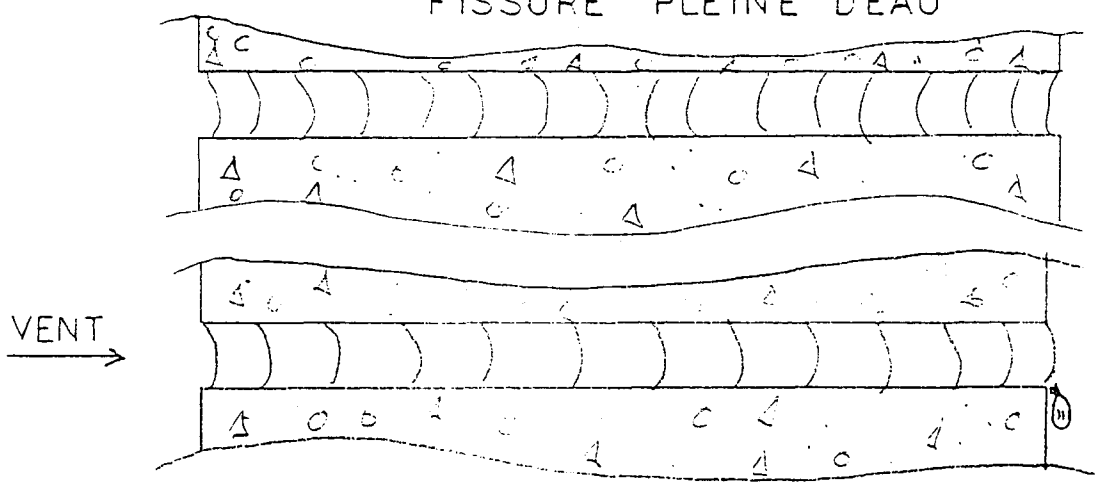
LA HAUTEUR D'ASCENSION
CAPILLAIRE SERA REDUITE

AIR INS Inc.		
titre / title: FENETRE COULISSANTE		
dessiné par / dwg. by: RC		feuille no. / sheet no. de / of
vérifié par / chk. by		légende no. / mtl. list no.
échelle / scale	date	dessin no. / dwg. no. 7



L'EAU PROGRESSERA DANS LA FENTE TANT QU'IL Y AURA ALIMENTATION EN EAU OU QUE LA HAUTEUR (ΔH) D'ASCENSION CAPILLAIRE, POUR UN ESPACE DONNE, N'EST PAS ATTEINTE.

FISSURE PLEINE D'EAU



LORSQUE LA FORCE CAUSEE PAR UN DIFFERENTIEL DE PRESSION EST PLUS GRANDE QUE LES FORCES DE TENSION SUPERFICIELLE IL Y AURA ECOULEMENT OU PROJECTION D'EAU SI LE ΔP EST BEAUCOUP PLUS GRAND

AIR INS Inc.		
titre / title: FISSURE		
dessiné par / dwg. by: RC	feuille no. / sheet no. de / of	
vérifié par / chk. by	légende no. / mtl. list no.	
échelle / scale	date	dessin no. / dwg. no. 8

ANNEXE A

DÉVELOPPEMENT DE L'ÉQUATION D'ASCENSION CAPILLAIRE

TRANSFERT D'EAU PAR CAPILLARITÉ DANS LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

1. INTERFACE GAZ-LIQUIDE

Toute molécule située au sein d'un liquide (voir figure. A1) subit l'attraction des molécules voisines par suite de l'effet des forces de cohésion (c). Etant donné la symétrie des forces qui règnent dans ce liquide, la molécule se trouve en équilibre, c'est-à-dire que les forces de cohésion s'annulent les unes les autres.

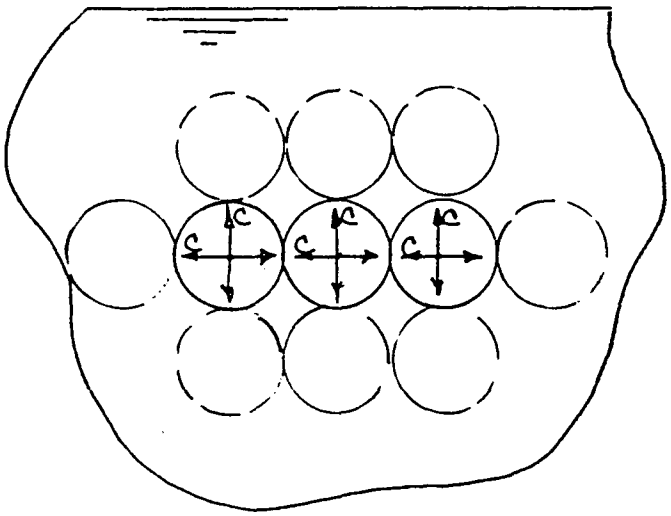


FIGURE A1

La situation change lorsque la molécule de liquide se trouve au voisinage de la surface près de laquelle le champ d'action précédent est moins intense, car en quelque sorte aplati (voir figure A2). On se trouve en présence du cas limite lorsque la molécule repose directement à la surface car dans ce cas, le champ d'action des forces de cohésion se réduit à une demi-sphère. Comme l'autre moitié de cette sphère ne contient qu'un nombre relativement faible de molécules gazeuses, on peut négliger leur influence sur les molécules de liquide.

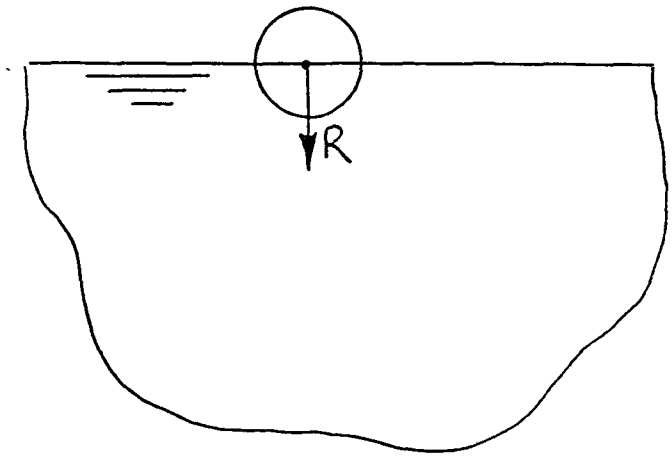


FIGURE A2

Il en ressort que la résultante des forces (R) de cohésion est perpendiculaire au plan de liquide et dirigée vers le bas, son maximum étant atteint lorsque la molécule de liquide se trouve dans la couche limite.

Les résultantes des forces de cohésion agissant sur toutes les molécules situées à proximité de la surface d'un liquide sont à l'origine d'une tension superficielle qui va agir de façon que la surface de liquide se rétracte au maximum. Ce phénomène physique peut être illustré par le fait qu'une lame de rasoir ou une aiguille reste à la surface d'un plan d'eau sans tomber au fond bien que la masse volumique de l'acier soit bien supérieure à celle de l'eau (voir figure A3).

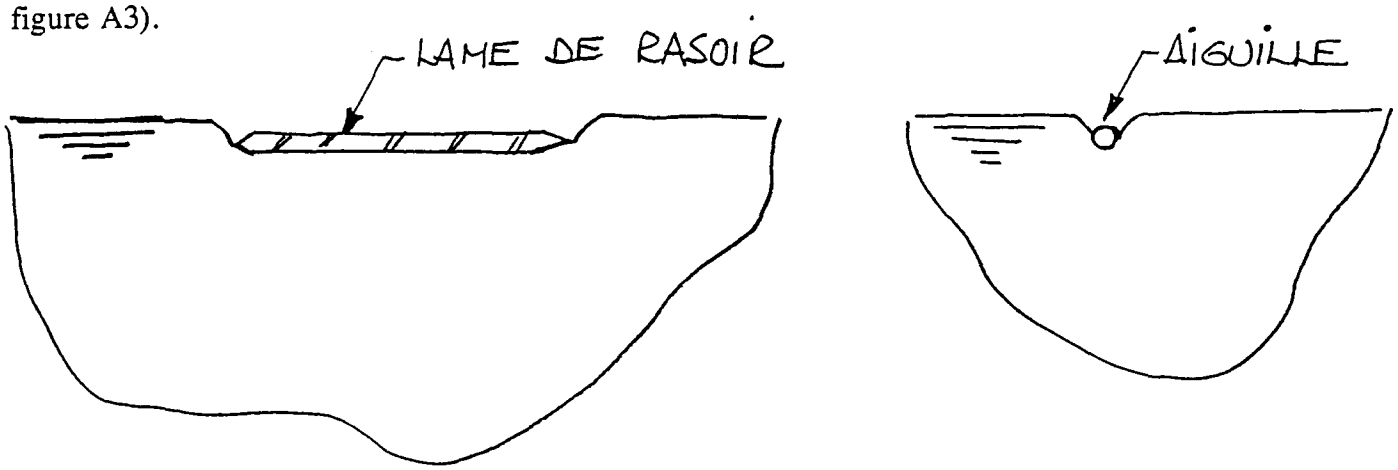


FIGURE A3

La tension superficielle (σ) est exprimé en terme de force par unité de longueur de la ligne de contact.

$$\sigma = \frac{F}{L}$$

A un interface gaz-liquide (voir figure A4), la tension superficielle (σ) représente la force par unité de longueur requise pour initier la rupture d'une surface de liquide.

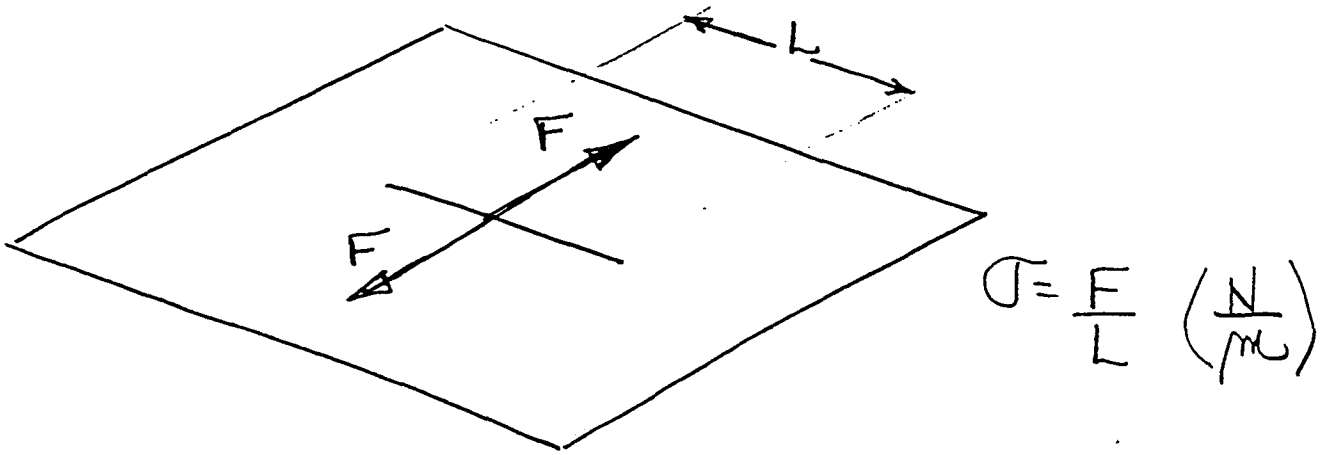


FIGURE A4

La tension superficielle (σ) de l'eau distillée (en contact avec de l'air) varie avec la température. Le tableau A1 illustre quelques valeurs typiques.

TABLEAU A1: TENSION SUPERFICIELLE DE L'EAU DISTILLÉE

UNITÉS IMPÉRIALES

TEMPÉRATURE	
°F	(lb/pi)
32	0.00518
40	0.00514
60	0.00504
80	0.00492
100	0.00480
140	0.00454
180	0.00427
212	0.00404

UNITÉS S.I.

TEMPÉRATURE	
°C	(N/m)
0	0.0756
10	0.0742
20	0.0728
30	0.0712
40	0.0696
60	0.0662
80	0.0626
100	0.0589

Remarque: Bien que dans la plupart des problèmes d'ingénierie, les forces associées à la tension superficielle soient très petites, il n'en n'est pas ainsi lorsqu'on traite des problèmes de pénétration d'eau par les fenêtres.

2. INTERFACE SOLIDE-LIQUIDE

Lorsqu'une molécule de liquide se trouve juste dans la couche limite séparant la surface du liquide de la paroi d'un récipient, le champ d'action des forces de cohésion (C) se réduit à un quart de sphère, la résultante de ces forces étant la bissectrice de l'angle formé par la surface du liquide et la paroi du récipient (voir figure A5).

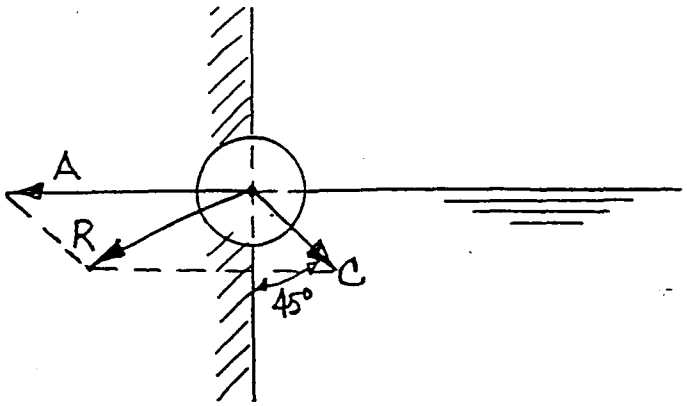


FIGURE A5

On peut donc conclure que dans un réservoir à paroi verticale, la résultante des forces de cohésion forme un angle de 45° avec l'horizontale (surface de liquide) ou avec la verticale (paroi du récipient). Toutefois, les forces précédentes ne sont pas les seules à agir car il existe un autre champ d'action, celui des forces d'adhésion (A) entre les molécules de liquide et les molécules de la paroi, dont la forme est semi-sphérique et dont la résultante va donc se trouver perpendiculaire à la paroi du récipient. La position de la résultante (R) des forces de cohésion et des forces d'adhésion va donc dépendre de la relation qui existe entre chacune des deux forces élémentaires, sa détermination se faisant au moyen du parallélograme des forces. Si la résultante des forces d'adhésion ne dépasse pas environ 70% de la résultante des forces de cohésion, la résultante globale va rester à l'intérieur du liquide et, dans le cas limite se positionner verticalement le long de la paroi du récipient (voir figure A6).

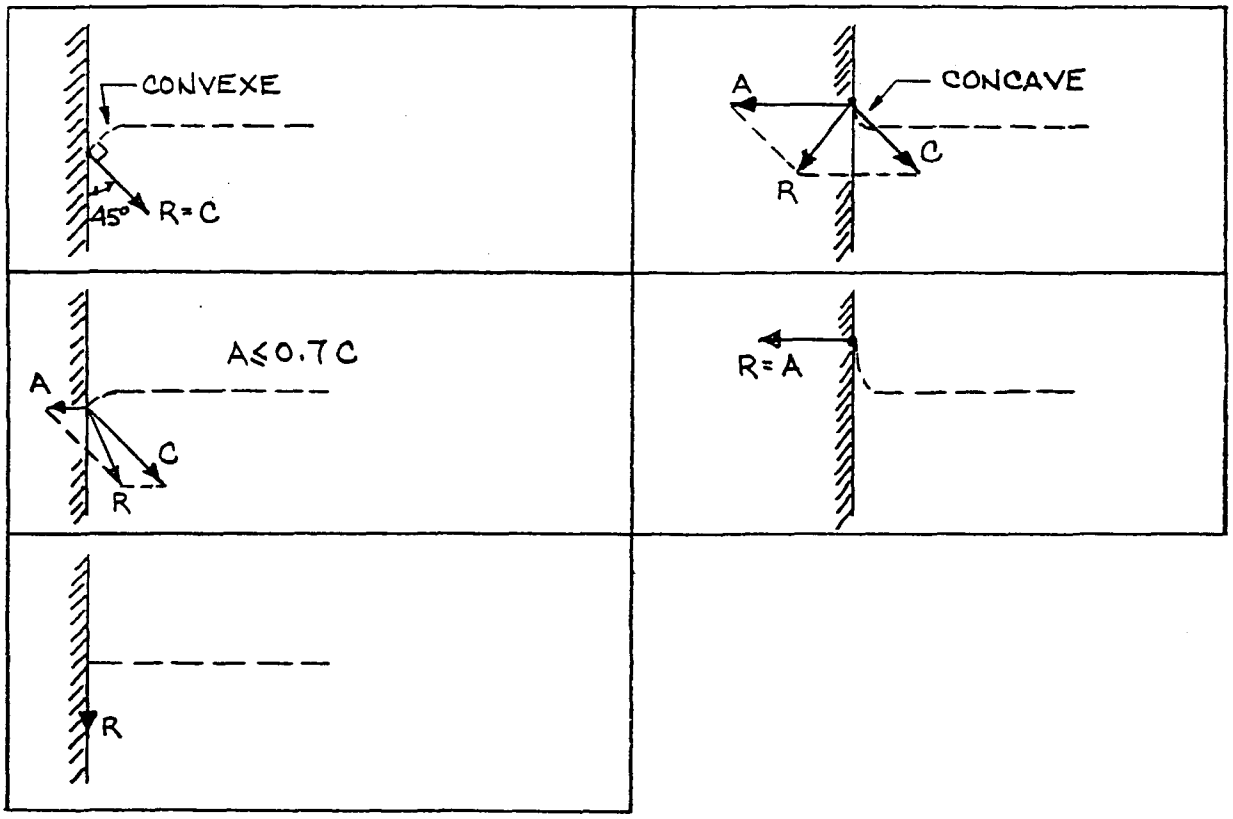


FIGURE A6

Comme la surface du liquide prend une position perpendiculaire par rapport à la résultante globale, il en ressort que la surface déformée du liquide, dite ménisque, va présenter une courbure plus ou moins accentuée qui sera convexe lorsque les forces d'adhésion seront modérées et concave lorsque leur résultante sera plus élevée. Ce n'est que lorsque la résultante globale est parallèle aux parois du récipient c'est-à-dire lorsque sa direction est verticale, que la surface du liquide ne présente pas de courbure, donc qu'elle est rigoureusement plane.

Les liquides présentant un ménisque convexe sont des liquides dits non mouillant et l'exemple le plus connu est le mercure dans un tube de verre.

Les liquides présentant un ménisque concave sont des liquides dits mouillants, l'exemple typique en étant l'eau dont l'angle de raccordement avec une surface de verre peut n'être que 0°; on dit dans ce cas que le raccordement est tangentiel ou encore que le mouillage est parfait.

3. LE PHÉNOMÈNE DE CAPILLARITÉ

On peut observer que si l'on plonge un tube de verre de très petite section dans un liquide non mouillant, il va y avoir formation à l'intérieur du tube d'un ménisque convexe, qui, par suite de la dépression capillaire qui a lieu, va se trouver nettement plus bas que la surface du reste de liquide extérieur au tube (voir figure A7).

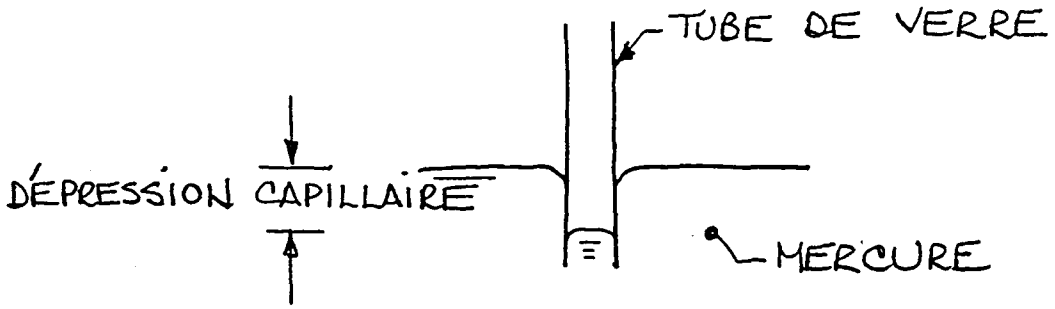


FIGURE A7

Par contre, lorsque l'on plonge le tube de verre dans un liquide mouillant, par exemple de l'eau, c'est le contraire qui se produit. Il y a dans ce cas formation d'un ménisque concave accompagnée d'un phénomène d'ascension capillaire qui fait que le ménisque va se trouver relevé d'une certaine distance par rapport à la surface de l'eau (voir figure A8).

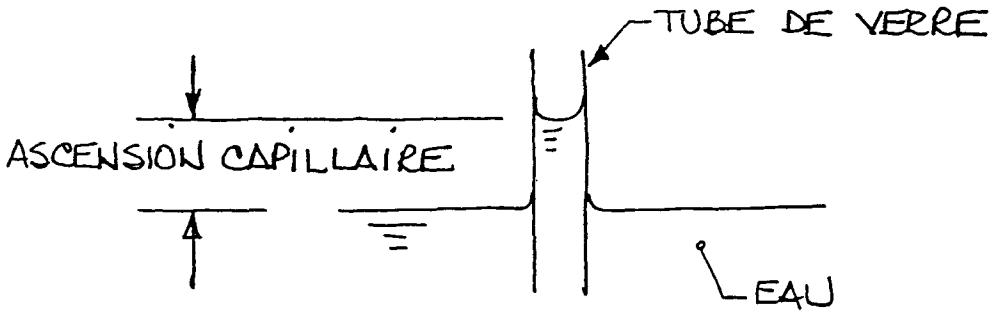


FIGURE A8

4. CALCUL DE L'ASCENSION OU DE LA DÉPRESSION CAPILLAIRE

La hauteur d'ascension capillaire est fonction de deux propriétés physiques: la première étant la tension superficielle du liquide (σ) alors que la deuxième est l'angle de contact (Θ), lequel dépend de la nature du liquide et des propriétés de surface du solide.

L'angle de contact est défini par l'angle formé entre la surface solide et la tangente à la surface liquide dans le médium liquide (voir figure A9).

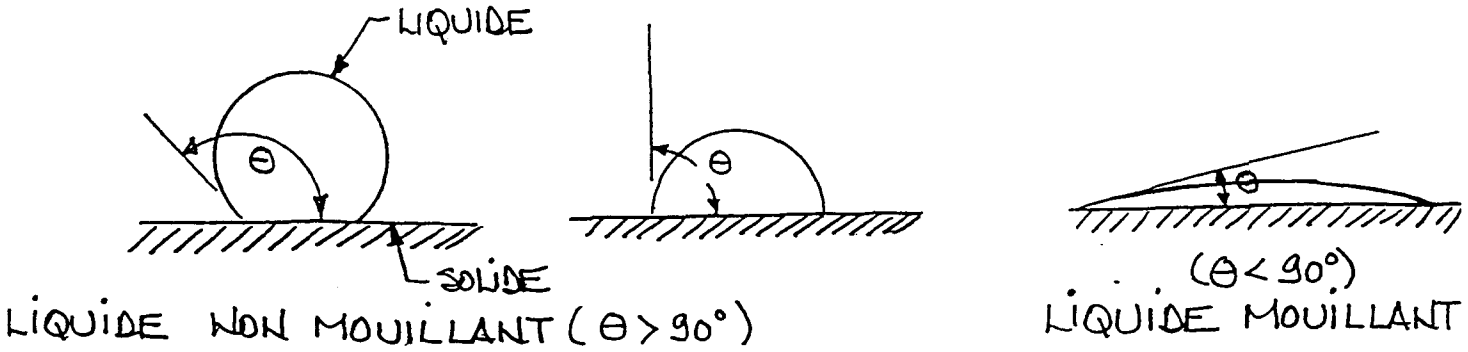


FIGURE A9

L'ascension ou la dépression capillaire étant un phénomène où l'équilibre est éventuellement atteint (çà ne bouge pas), on pourra donc se servir du diagramme du corps libre pour déterminer l'ascension (dépression) capillaire.

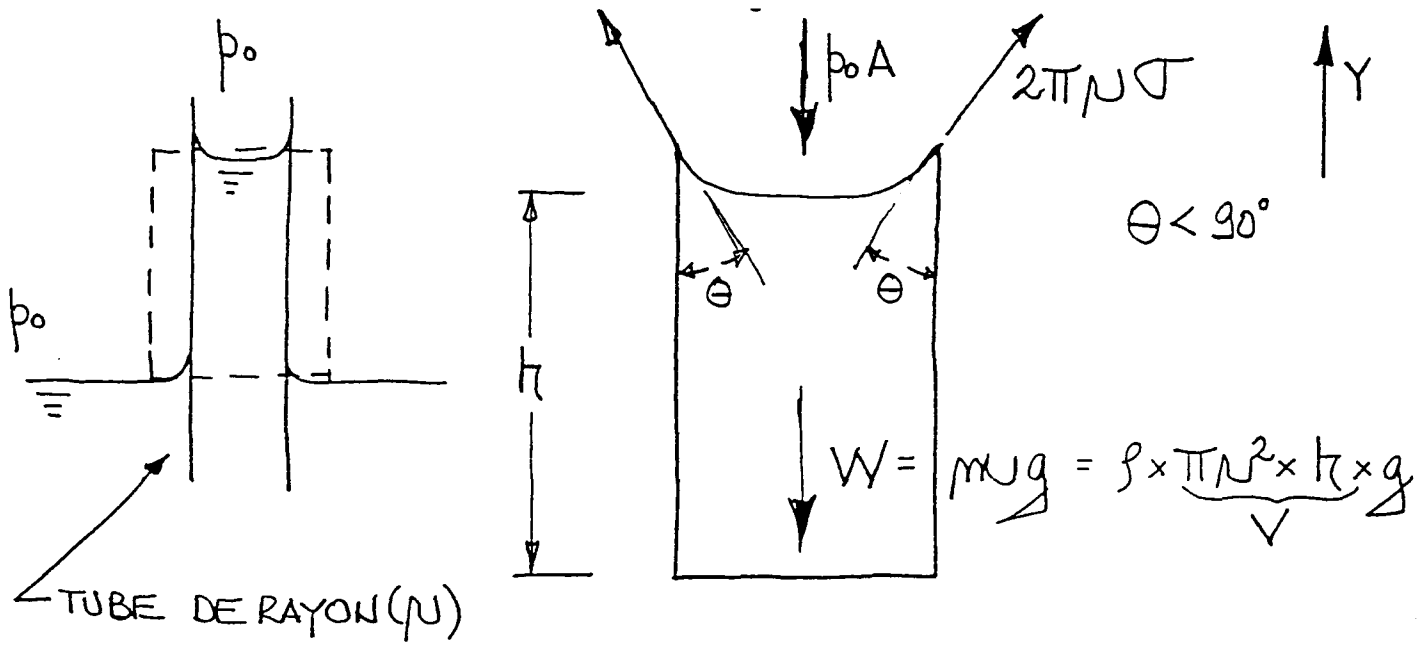


FIGURE A10: DIAGRAMME DU CORPS LIBRE DE L'ASCENSION CAPILLAIRE DANS UN TUBE

L'équation de base utilisée pour calculer l'ascension capillaire sera:

$$\boxed{\sum F_Y = 0}$$

4. TUBE CYLINDRIQUE

Tel qu'illustré sur la figure A10, l'équation d'équilibre devient:

$$\Sigma F_Y \downarrow + = 0 \quad \Rightarrow \quad \rho \pi r^2 h g - 2\pi r \sigma \cos\theta = 0$$

$$\boxed{h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho r g}}$$

L'équation révèle que l'ascension capillaire ($\Theta < 90°$) est:

- Directement proportionnelle à la tension superficielle (σ);
- Directement proportionnelle au cosinus de l'angle de contact (Θ);
- Inversement proportionnelle à la masse volumique du liquide (ρ);
- Inversement proportionnelle au diamètre du tube. C'est pour cette raison que dans le cas de tubes capillaires de très petit diamètre, la hauteur d'ascension peut atteindre des proportions considérables.

Le tableau A2 illustre l'importance de l'ascension capillaire dans un tube de verre lorsque le liquide est de l'eau distillée et de l'eau domestique.

TABLEAU A2: HAUTEUR D'ASCENSION DANS UN TUBE (AIR-EAU-VERRE)

DIAMÈTRE DU TUBE		HAUTEUR D'ASCENSION			
		EAU DISTILLÉE		EAU DOMESTIQUE	
mm	(po)	mm	(po)	mm	(po.)
0.25	0.010	120	4.72	60	2.36
0.5	0.019	60	2.36	30	1.18
1	0.039	30	1.18	15	0.59
2	0.079	15	0.59	7.5	0.29
3	0.118	10	0.39	5	0.20
4	0.157	7.5	0.29	3.9	0.16
5	0.197	6	0.23	3	0.12
6	0.236	5	0.20	2.5	0.1

T = 20°C (68°F)

La différence entre la hauteur d'ascension pour l'eau distillée par rapport à l'eau domestique est causée par la variation de la tension superficielle et la variation de l'angle de contact.

4.2 PAROIS PARALLÈLES VERTICALES

Si l'on remplace le tube de verre par deux plaques de verre parallèles maintenues à une distance égale au diamètre intérieur du tube de verre, la hauteur ascensionnelle est réduite de moitié par rapport à ce qu'elle était dans le tube de verre.

$$\boxed{h_{\text{PLAQUES } \parallel s} = \frac{1}{2} h_{\text{TUBE}}} \qquad \text{POUR} \quad d = \phi$$

Ceci provient de l'analyse du diagramma de corps libre (voir figure A11) de l'ascension capillaire entre deux plaques parallèles:

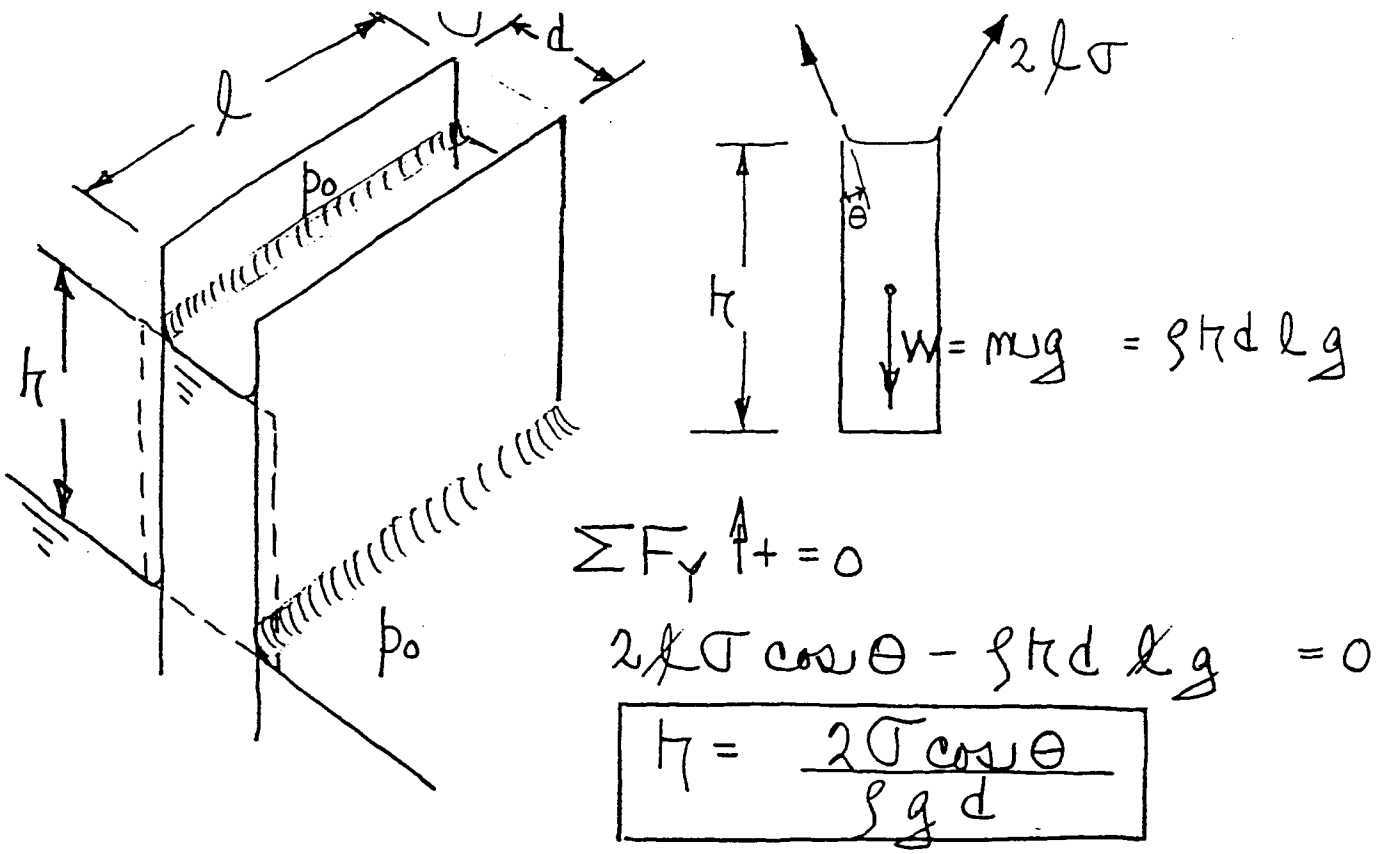
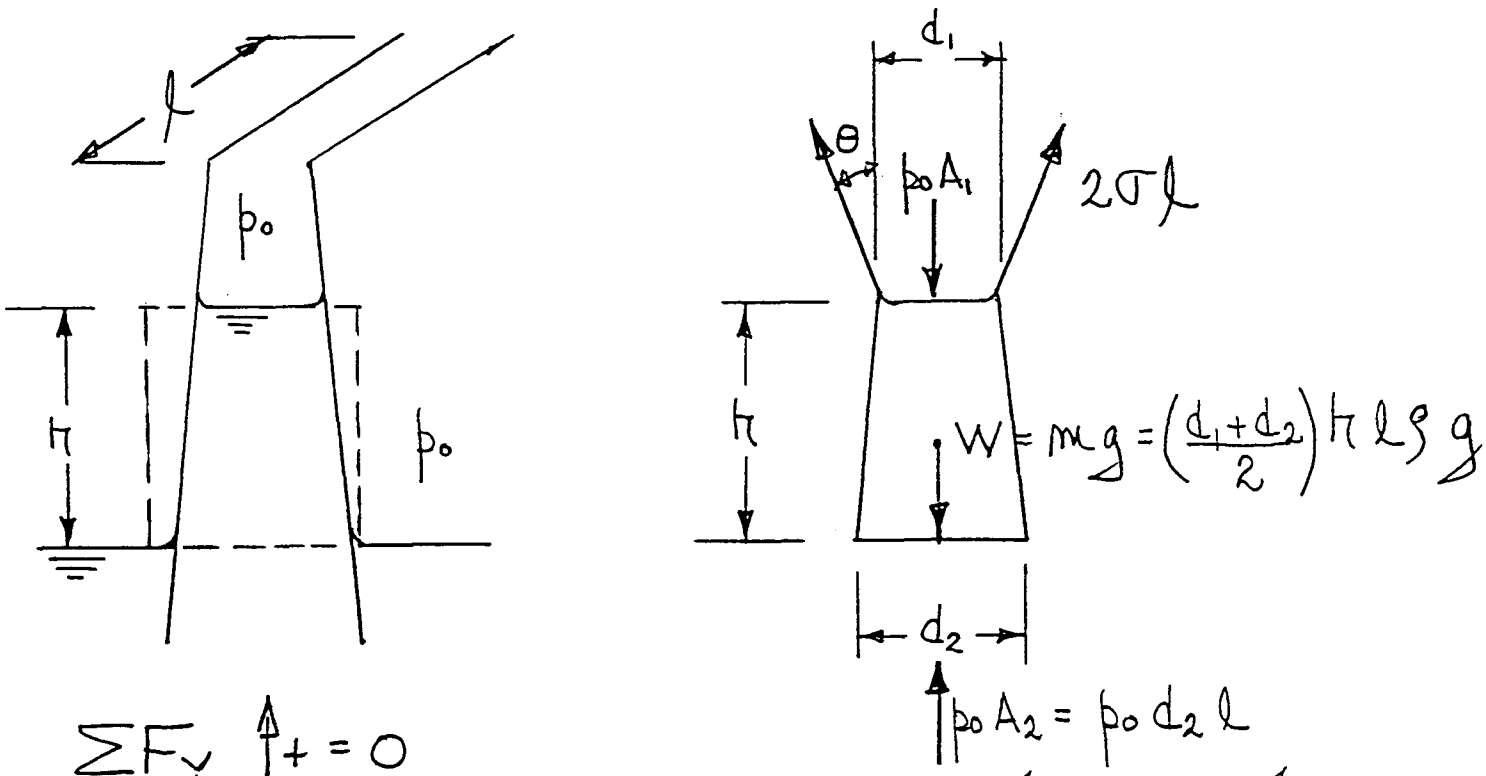


FIGURE A11

4.3. PAROIS NON-PARALLÈLES (PRÈS DE LA POSITION VERTICALE)

L'analyse du diagramme de corps libre révèle:



$$\sum F_Y \uparrow + = 0$$

$$2\sigma \cancel{\ell} \cos\theta - \left(\frac{d_1+d_2}{2}\right) h \cancel{\ell} \rho g + p_o d_2 \cancel{\ell} - p_o d_1 \cancel{\ell} = 0$$

$$\boxed{h = \frac{2\sigma\cos\theta + p_o(d_2 - d_1)}{\left(\frac{d_1+d_2}{2}\right)\rho g}}$$

Les valeurs de ρ , σ, Θ, p_o et d_2 étant connues, la hauteur d'ascension peut être déterminée par essais successifs en supposant une valeur pour "d_1" proposée.

ANNEXE B

DESCRIPTION DES PHOTOS

1- Quelques échantillons mis à l'essai.

2- Des lignes de stylo-feutre délibile sont tracées sur les 2 faces de chaque échantillon.

3- Les échantillons sont séparés par des jauges d'espacement et plongés dans de l'eau de pluie.

4- L'eau ayant effacé une partie des lignes, il est possible d'avoir une valeur de l'ascension capillaire pour un espacement donné en faisant la différence des hauteurs entre les 2 côtés des plaques.

5- Les échantillons sont collés ensemble et une valeur de hauteur est prise.

6- Les échantillons sont séparés et de l'eau de pluie est déposée sur la surface inférieure.

7- L'échantillon supérieur est descendu jusqu'à ce qu'il y ait contact avec l'eau puis remonté jusqu'au décrochement.

8- Même que 7 mais pour le verre.

9- Une mesure de la hauteur de la surface est prise.

10- Le vernier est soulevé, de l'eau de pluie est déposée sur la surface, par suite le vernier est descendu jusqu'à ce qu'il y ait contact avec l'eau.

PHOTO NO. 1

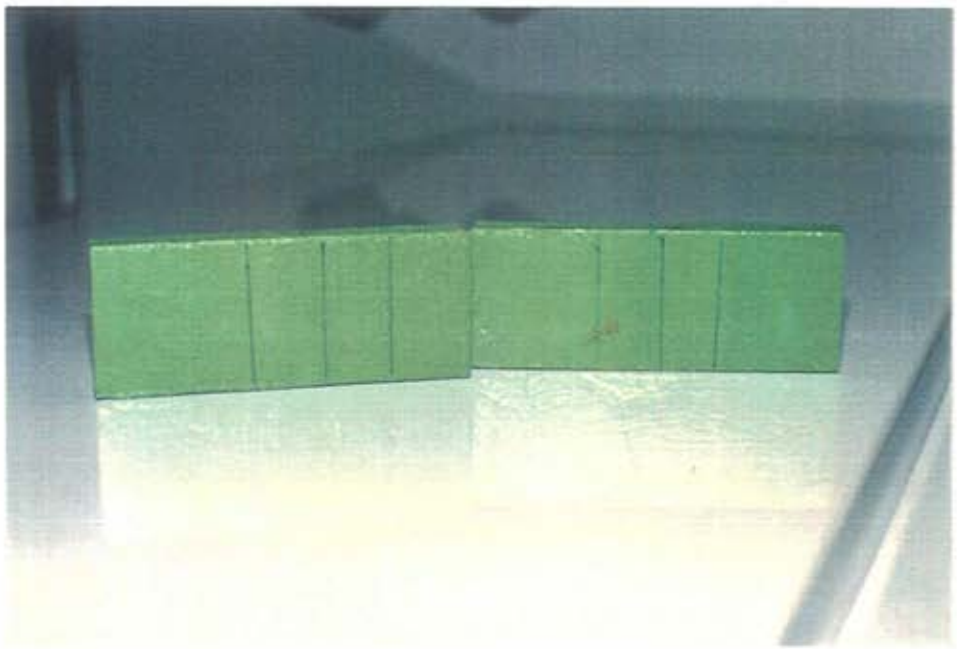


PHOTO NO. 2

PHOTO NO. 3

PHOTO NO. 4

PHOTO NO. 5

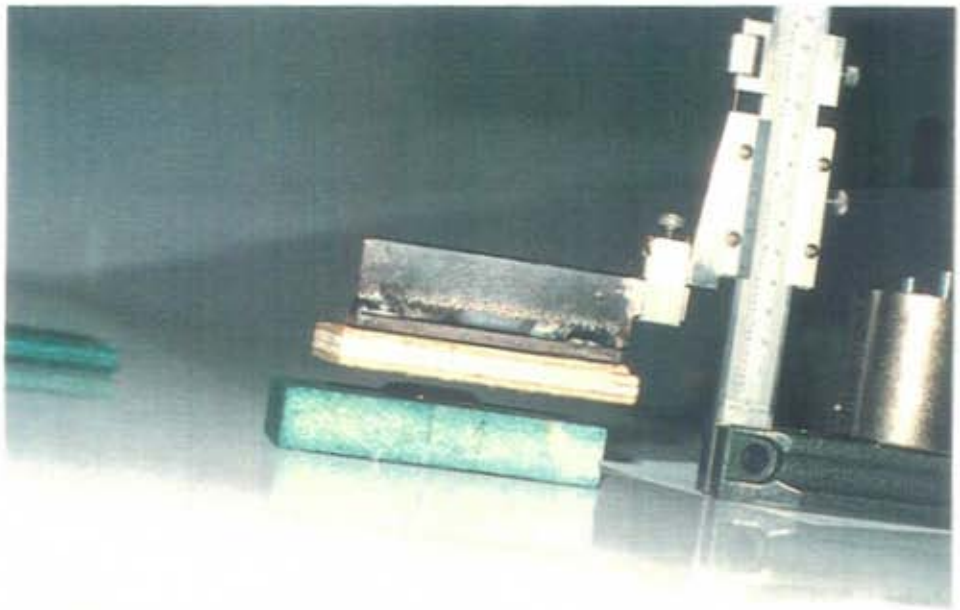


PHOTO NO. 6

PHOTO NO. 7

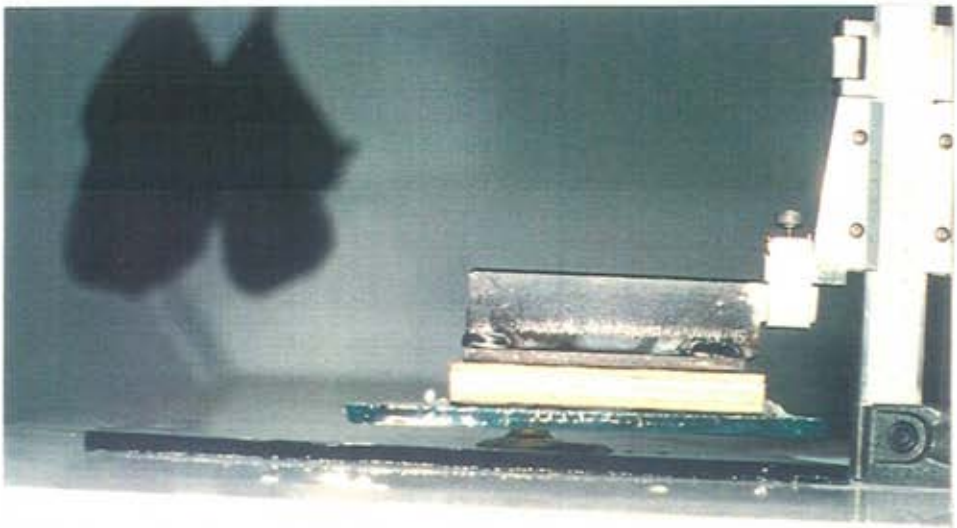


PHOTO NO. 8

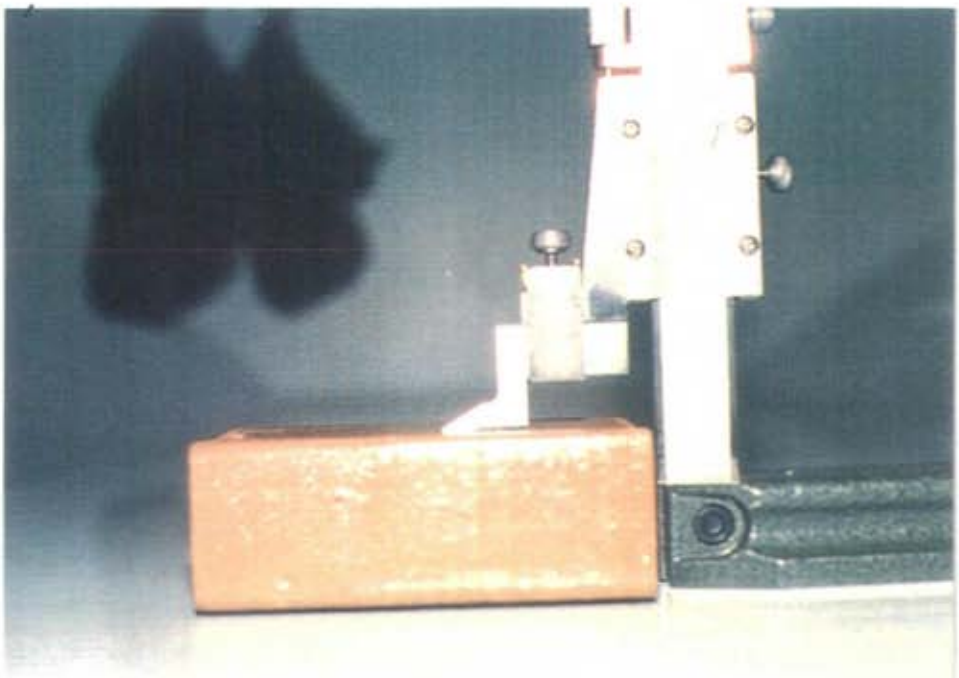


PHOTO NO. 9

PHOTO NO. 10