

**Évaluation de la précision
des hygromètres**

Présenté à la :

Division de la recherche
Société canadienne d'hypothèques et de logement
Bureau national
700, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7

par

Buchan, Lawton, Parent Ltd.

5370, Canotek Road
Ottawa (Ontario)
K1J 9E6

Janvier 1994

NOTE: ISSUED ALSO IN ENGLISH UNDER THE TITLE:
INVESTIGATION OF MOISTURE MONITORING DEVICES

AVERTISSEMENT

La présente publication est l'un des nombreux moyens d'information que la SCHL a produits avec l'aide de capitaux du gouvernement fédéral. Les idées présentées ci-après sont celles de l'auteur et ne représentent pas nécessairement la position officielle de la Société canadienne d'hypothèques et de logement.

Résumé

Mesurer le degré d'humidité de l'air ambiant d'un bâtiment constitue la première démarche importante à entreprendre pour en évaluer les problèmes d'humidité. À cette fin, il suffit de disposer d'un simple appareil peu coûteux, affichant un degré raisonnable d'exactitude.

Les objectifs de la présente recherche consistent à déterminer l'exactitude et la durabilité des hygromètres à la portée des propriétaires-occupants et à mettre au point une méthode d'étalonnage simple.

Six sortes d'hygromètres destinés au marché de la consommation ont fait l'objet de tests dans une chambre à atmosphère contrôlée. La moitié des appareils testés ont affiché d'importantes erreurs d'étalonnage zéro. Les hygromètres à résistance ont réagi peu ou pas du tout aux taux d'humidité inférieure. L'exposition prolongée au gel et à la condensation n'a pas exercé d'effet permanent sur la performance des hygromètres testés lors de cette étude. L'exposition au chlore a agi temporairement sur l'un des hygromètres à résistance. Les résultats indiquent qu'un hygromètre à résistance ou à dilatation bien étalonné conviendra vraisemblablement aux besoins des propriétaires-occupants.

Nous avons tenté d'utiliser les données météorologiques obtenues d'aéroports pour étalonner les hygromètres, surtout dans les conditions suivantes :

- ° température extérieure d'environ 20 °C
- ° journée ensoleillée, ciel clair, pression atmosphérique élevée
- ° forts vents
- ° relevés effectués au milieu de l'après-midi
- ° hygromètre protégé de l'ensoleillement direct

Les résultats des essais d'étalonnage sont prometteurs, mais non concluants.

Table des matières

1.0	INTRODUCTION	1
2.0	CONTEXTE	2
3.0	RECHERCHE DOCUMENTAIRE	4
3.1	Sortes d'hygromètres	4
3.2	Disponibilité des appareils	6
3.3	Choix d'hygromètres à tester	11
4.0	TESTS DES HYGROMÈTRES	12
4.1	Exactitude des hygromètres : Méthodes d'essai	12
4.2	Environnement domestique type	14
4.2.1	Réaction transitoire des hygromètres	20
4.2.2	Performance des capteurs exposés aux températures basses (10 à 15°C)	22
4.3	Effets du gel et de la condensation	25
4.4	Effets des contaminants domestiques	27
5.0	MÉTHODES D'ÉTALONNAGE	29
5.1	Objet d'une méthode d'étalonnage	29
5.2	Conditions de test optimales	29
5.3	Méthode d'étalonnage en fonction des données météorologiques	30
5.4	Comparaison des taux d'humidité relevés aux aéroports de Gatineau et d'Ottawa	33
6.0	CONCLUSION	35

- ANNEXES -

Annexe A -	Résultats des essais transitoires
Annexe B -	Résultats des essais à basse température
Annexe C -	Résultats des essais d'exposition au gel et à la condensation
Annexe D -	Résultats des tests d'exposition au chlore

Figures

Figure 1 : Mesures d'humidité de l'hygromètre Taylor 5547	16
Figure 2 : Mesures d'humidité de l'hygromètre Springfield 1803	16
Figure 3 : Mesures d'humidité de l'hygromètre Bionaire BT-252	17
Figure 4 : Mesures d'humidité de l'hygromètre Micronta 63-844	17
Figure 5 : Mesures d'humidité de l'hygromètre Taylor 5565	18
Figure 6 : Mesures d'humidité de l'hygromètre Thermo-Hydro	18
Figure 7 : Mesures d'humidité de l'hygromètre Enercorp HD-420	19
Figure 8 : Mesures d'humidité de l'hygromètre Johnson HE-6300	19
Figure 9 : Réponse transitoire de l'hygromètre Springfield 1803	21
Figure 10 : Mesure d'humidité de l'hygromètre Micronta 63-844 (10-15 °C)	24
Figure 11 : Mesure d'humidité de l'hygromètre Taylor 5547 (exposition au gel et à la condensation)	26
Figure 12 : Mesure d'humidité de l'hygromètre Bionaire BT-252 (exposition au chlore)	28
Figure 13 : Comparaison de l'humidité relative (HR) mesurée par rapport aux données de l'aéroport	32

1.0 INTRODUCTION

En science du bâtiment, la mesure du degré d'humidité constitue un critère important pour évaluer la qualité de l'air ambiant de même que les effets de l'humidité sur les matériaux de construction et le contenu des bâtiments. L'étanchéité¹ de l'enveloppe des bâtiments tant neufs que récemment réhabilités au Canada est supérieure à ce qu'elle était jadis. Il en résulte un taux de ventilation moindre et, par conséquent, des risques accrus de problèmes d'humidité.

On conseille souvent aux propriétaires-occupants confrontés à des problèmes d'humidité de mesurer le degré d'humidité relative de l'air de leur maison. À cette fin, il suffit de disposer d'un simple appareil peu coûteux, affichant un degré raisonnable d'exactitude. Par contre, les hygromètres à la portée des propriétaires-occupants varient en qualité et en exactitude.

La SCHL reconnaît le bien-fondé d'établir, par de la recherche, l'exactitude des hygromètres offerts et leur fiabilité au fil du temps à l'intérieur des plages d'humidité et de température qui se rencontrent dans les maisons canadiennes.

La recherche poursuit les objectifs suivants :

- déterminer l'exactitude des hygromètres dans des conditions domestiques possibles;
- examiner la durabilité des hygromètres exposés à des conditions rigoureuses comme le gel, la condensation et les substances chimiques; et
- mettre au point une méthode d'étalonnage d'emploi facile pour les propriétaires-occupants qui voudront vérifier l'exactitude de leur hygromètre. La mise au point de la méthode est nécessaire puisqu'on prévoit que les appareils finiront par subir une certaine déviation qu'il faudra corriger par un réétalonnage.

2.0 CONTEXTE

L'humidité représente depuis longtemps l'une des conditions environnementales les plus difficiles à mesurer avec exactitude. Pendant bien des années, tous les appareils, à part les instruments scientifiques les plus coûteux, s'en remettaient au changement dimensionnel d'un capteur pour établir la teneur en eau de l'air. Ce capteur était souvent constitué d'un cheveu humain ou d'un poil animal. Un tel hygromètre comptait sur un multiplicateur mécanique pour faire afficher le résultat par une aiguille se déplaçant devant un cadran gradué.

De nombreux hygromètres peu chers offerts aujourd'hui sur le marché exploitent sensiblement la même technique, si ce n'est que le cheveu ou poil a été remplacé, dans bien des cas, par un capteur synthétique. Ces dispositifs sont cependant sujets à une vaste gamme d'erreurs en matière d'étalonnage et de stabilité. En raison de leur caractère mécanique, de nombreuses erreurs qui leur sont imputées s'expliquent par les pièces de liaison mécaniques. La variation de la friction à l'endroit du pivot et la déformation permanente du capteur risquent de fausser fortement les lectures.

Dans le domaine scientifique, des instruments très coûteux ont été employés pour mesurer le degré d'humidité avec exactitude, le plus courant étant un hygromètre à point de rosée faisant appel à divers capteurs optiques, à des miroirs chauffés ou refroidis, ainsi qu'à des pièces électroniques coûteuses. Il faut compter sur l'intervention d'un technicien expérimenté pour obtenir des mesures précises à l'aide de l'un de ces instruments.

Depuis vingt ans, une foule de nouveaux hygromètres électroniques ont fait leur apparition. Pour déterminer le degré d'humidité, les dispositifs exploitent généralement un capteur capacitif ou à résistance. Émettant un signal très faible, ces éléments requièrent des composantes électroniques hautement perfectionnées pour amplifier et linéariser les résultats. Jusqu'à tout récemment, ces hygromètres affichaient un coût prohibitif pour fins d'emploi dans l'habitation.

La plupart des hygromètres électroniques sont sujets à une série d'erreurs provenant notamment:

- de la déviation à long terme (les degrés d'humidité mesurés dévient lentement des valeurs réelles);
- de la contamination de polluants, en particulier des composés d'ammoniac et de chlore;
- de décalages permanents causés par l'exposition à la condensation;
- de décalages permanents causés par l'exposition à des températures inférieures au point de congélation; et
- de dommages causé par le malmenage.

La susceptibilité des hygromètres électroniques à subir une contamination provoquée par des substances chimiques présentes en faibles concentrations dans l'air pose un problème d'intérêt particulier. En effet, les dispositifs purement mécaniques ne sont généralement affectés que lorsqu'une forte dose de corrosion endommage les pièces de liaison mécaniques. Ces dommages sont facilement décelables, alors que pour les hygromètres électroniques, ils sont subtils et souvent non manifestes.

Les baisses récentes du coût des pièces électroniques ont entraîné une réduction spectaculaire du prix des hygromètres électroniques, de même que la mise au point de nouveaux hygromètres à semi-conducteurs. L'exactitude et la déviation de ces dispositifs ne sont toutefois généralement pas connues.

On retrouve aujourd'hui sur le marché une panoplie d'instruments se vendant moins de 100 \$. Il s'agit d'une catégorie allant des hygromètres mécaniques à cheveu coûtant moins de 20 \$ jusqu'aux instruments à semi-conducteurs se vendant environ 40 \$. Les nouveaux instruments sont assortis d'une marge d'exactitude de ± 3 % dans une gamme d'humidité relative s'échelonnant de 5 à 95 %.

L'objet de cette recherche consiste, d'une part, à déterminer l'exactitude, tant à court qu'à long terme, de divers types de dispositifs que le propriétaire-occupant peut se procurer pour moins de 100 \$ et, d'autre part, à mettre au point des méthodes d'étalonnage simples.

3.0 RECHERCHE DOCUMENTAIRE

La recherche documentaire visait à caractériser l'évolution récente survenue en matière de mesure d'humidité. La recherche de bases de données a porté sur des documents publiés de 1988 à nos jours. La section suivante résume les renseignements se rapportant aux diverses sortes d'hygromètres résidentiels.

Le second volet de la recherche documentaire tendait à compiler et à évaluer les dépliants accompagnant les produits. La recherche a été consacrée aux hygromètres se vendant moins de 100 \$ et se prêtant à un usage résidentiel. Il a fallu, pour ce faire, consulter les détaillants, les distributeurs et les fabricants dans le but d'obtenir une liste plutôt complète des appareils offerts.

3.1 Sortes d'hygromètres

Les hygromètres se divisent en deux catégories : les instruments mesurant les caractéristiques fondamentales de l'air et les instruments mesurant la température du thermomètre mouillé et le point de rosée, tels les psychromètres et les dispositifs à miroir refroidi.

Les dispositifs à miroir refroidi sont bel et bien hors de la gamme de prix envisagée dans le cadre de l'étude. Le prix des psychromètres se situe à partir du milieu jusqu'au haut de la gamme des prix inférieurs à 100 \$. Par contre, pour se servir efficacement de l'une ou l'autre sorte d'instruments, l'utilisateur doit posséder un bagage de connaissance considérable et se livrer à un entretien et à un étalonnage périodiques pour obtenir des relevés exacts. En conséquence, ces dispositifs sont contre-indiqués pour la maison et ne feront pas l'objet d'une étude ici.

Les hygromètres s'inscrivant dans la deuxième catégorie mesurent l'effet que la teneur en eau exerce sur les propriétés matérielles du capteur. Faciles à utiliser et requérant peu d'entretien, ces appareils sont tout indiqués pour la population en général.

Cette catégorie se répartit en trois groupes d'instruments, selon la technique de mesure : extensométrique, capacitif, à résistance. Les trois sortes d'instruments comptent sur des relations empiriques entre les changements de propriétés des capteurs et l'humidité relative. L'erreur

associée à cette relation empirique peut être réduite au minimum, mais jamais éliminée. La majorité de ces instruments ne sont pas censés être réétalonnés après leur départ de l'usine.

Une vaste gamme d'hygromètres extensométrique et à résistance s'obtiennent pour moins de 100 \$, alors que le prix des hygromètres capacitifs commence à environ 150 \$.

Hygromètres extensométrique

La variation d'humidité modifie la teneur en eau de certains matériaux, entraînant leur dilatation ou leur contraction. Les hygromètres extensométrique mesurent l'augmentation ou la diminution de volume de substances hygroscopiques telles que cheveux humains, fibres celluloses ou synthétiques. Les changements dimensionnels de la matière sont étalonnés de façon à obtenir un relevé de l'humidité.

Les hygromètres extensométrique, peu coûteux, ne sont pas grandement affectés par la présence de contaminants aéroportés.

Ils ont généralement pour désavantages de subir une déformation plastique au fil du temps, faussant à long terme les relevés d'humidité, surtout si la jauge a été exposée à de forts taux d'humidité, et à demeurer «stationnaires» et à résister à tout changement si l'humidité reste constante pendant une longue durée.

Hygromètres à résistance

Les capteurs de ces hygromètres font usage de filaments saturés de sels ou de grilles métalliques enrobés de polymère. Dans les deux cas, la résistance de la sonde varie selon l'absorption d'humidité. L'intensité du courant traversant la sonde est fonction de l'humidité relative de l'air environnant.

L'hygromètre à résistance donne des résultats assez exacts et reproductibles pour les taux d'humidité moyenne à élevés. Le capteur à base de polymère résiste également aux contaminants puisque ces derniers ne peuvent pénétrer la surface de la sonde.

À de très faibles taux d'humidité, les mesures manquent de justesse à mesure que la résistance s'approche de l'infini. Des articles comparant différents types d'hygromètres invitent à ne pas employer ces capteurs lorsqu'on s'attend à ce que le degré d'humidité soit inférieur à 10 ou 15 %.

L'autre désavantage de cet hygromètre est que la teneur en eau doit se stabiliser dans tout le polymère avant de donner un relevé exact. Les hygromètres de ce type sont par conséquent comparativement lents à réagir aux variations d'humidité. Leur délai de réaction s'exprime habituellement en terme de secondes, parfois plusieurs minutes.

Hygromètres capacitifs

Les hygromètres capacitifs sont constitués par deux fines lames de polymère placées entre deux électrodes. La constante diélectrique de l'eau est de beaucoup supérieure à celle du polymère de sorte que la mesure de capacitance varie selon la quantité d'eau absorbée à la surface des lames, qui, à son tour, est directement reliée à l'humidité. Comme pour les hygromètres résistifs, l'intensité ou le courant traversant la sonde est fonction de l'humidité relative de l'air environnant.

Ce type de capteur a l'avantage de réagir rapidement aux fluctuations d'humidité et de fournir des relevés exacts et reproductibles des degrés d'humidité faibles ou moyens.

À de forts taux d'humidité, ce type d'hygromètre pose des problèmes, puisque les lames atteignent en général leur taux de saturation, donnant lieu à des relevés peu fidèles.

Ces hygromètres, peu accessibles au grand public, s'obtiennent auprès de distributeurs d'instruments scientifiques. Leur prix commence aux environs de 150 \$.

3.2 Disponibilité des appareils

La recherche de produits s'est effectuée en conservant à l'esprit les besoins et le niveau de connaissances des consommateurs. Une liste de détaillants et de distributeurs d'instruments scientifiques tenant des hygromètres a été dressée pour simplifier la tâche aux consommateurs.

Le Tableau 1 résume la disponibilité des hygromètres auprès des distributeurs rejoins dans le cadre de l'étude.

Voici des conclusions générales concernant les hygromètres se vendant à moins de 100 \$:

- Les hygromètres extensométriques sont les plus dispendieux et le prix le plus on leur attribue la plus grande exactitude. Ils étaient surtout fabriqués en Allemagne et en Suisse.
- La catégorie des prix moyens était dominée par les hygromètres extensométrique et à résistance fabriqués en Extrême-Orient.
- Les hygromètres extensométrique de moins de 15 \$ se fabriquaient aux États-Unis.

Il n'a pas été possible d'obtenir de l'information sur la catégorie des hygromètres les moins coûteux même lorsque le même distributeur ou fabricant disposait d'information sur ses hygromètres les plus coûteux. Les hygromètres les moins coûteux ne sont pas vendus avec l'assurance qu'ils fournissent des relevés exacts.

Tableau 1 : Détails joints

Détaillant	Nombre de modèles < 100\$	Coût (\$)	Modèle n°	Fabricant/Distributeur
Quincailleries				
Canadian Tire	3	11.0	1803	Springfield
		5.5	8123	Springfield
		9.0	5547	Taylor
Home Hardware	1	9.0	5547	Taylor
Grands magasins				
Sears	2	30.0	BT-252	Bionaire
		11.0	1803	Springfield
Woolco	2	7.5	8123	Springfield
		11.6	1803	Springfield
Zellers	1	12.0	5547	Taylor
La Baie	0			
Eaton	0			
K-mart	0			
Distribution aux consommateurs	0			
Magasins de matériaux de construction				
Beaver Lumber	1	10.0	1803	Springfield
Builders' Warehouse	0			
Cashway	0			
Magasins d'électronique				
Radio Shack	1	29.0	63-844	Micronta
Westburne Elect.	0			
Powrmatic	0			
Aikenheads Electric & Plumbing	0			
Marchand Electric	0			
Magasins de pianos				
Lauzon Music Centre	1	49.0		Watrous
Quincy's Piano Service	0			

Détaillant	Nombre de modèles < 100\$	Coût (\$)	Modèle n°	Fabricant/Distributeur
Ottawa's Piano Organ's	0			
Campbell Douglas Keyboards	0			
Do-Re-Mi Piano	0			
Marchands d'instruments scientifiques				
Cole-Parmer	5	56.4	G-03313-80	N.D.
		56.4	G-03313-82	N.D.
		105.3	G-03310-72	N.D.
		73.7	G-37500-00	N.D.
		87.2	G-37101-00	N.D.
Fisher Scientific	5	10.0	5547	Taylor
		85.0	5566	Taylor
		92.0	5565	Taylor
		78.0	5368	Taylor
		69.5	5590	Taylor
Canadawide Scientific	10	26.5	5746-12	Taylor
		99.8	5746-20	Sper Scientific
		65.6	5753-11	Taylor
		52.9	5755-02	Brooklyn
		91.5	5755-10	Taylor
		75.0	5755-50	Brooklyn
		90.9	5755-60	Brooklyn
		79.8	5755-52	Brooklyn
		96.2	5755-62	Brooklyn
		92.5	5755-70	Taylor
Control Systems				
BASE	1	55.0	UTL880	I.S.L.
Honeywell	0			
Johnson Controls	0			
Staefa	0			
Wiles-Legault	0			

Tableau 2 : Hygromètres de moins de 100 \$ selon le fabricant ou le distributeur

Fabricant*	Modèle n°	Type	Exactitude**	Enregistre haut, bas***	Détaillant
Bionaire	BT-252	résistance	5%, 30-80 HR	Non	Sears
Brooklyn	5755-02	synthétique	4%	Non	Canadawide
	7434	synthétique	3%, 25-90 HR	Non	Canadawide
	7534	synthétique	3%, 25-90 HR	Non	Canadawide
	7537	synthétique	3%, 25-90 HR	Non	Canadawide
Cole-Parmer	G-03313-80	cellulose	5%, plage complète	Non	Cole-Parmer
	G-03313-82	cellulose	5%, plage complète	Non	Cole-Parmer
	G-03310-72	cellulose	2,5%	Non	Cole-Parmer
	G-37500-00	résistance	5%, 40-80 HR	Oui	Cole-Parmer
	G-37101-00	résistance	5%, 40-80 HR	Oui	Cole-Parmer
I.S.L.	UTL880	S.O.	5%, 40-80 HR	Oui	B.A.S.E.
Micronta	63-884	résistance	5%, 40-80 HR	Non	Radio Shack
Springfield	8123	extensométrique	aucune précision attestée	Non	Canadian Tire, Woolco
	1803	extensométrique	aucune précision attestée	Non	Canadian Tire, Woolco, Beaver Lumber
Taylor	5547	extensométrique	aucune précision attestée	Non	Canadian Tire, Home Hardware, Zellers, Can-Canadawide, Fisher Scientific
	5566	synthétique	5%, 35-75 HR	Non	Canadawide, Fisher Scientific
	5565	synthétique	5%	Non	"
	5368	résistance	5%, 35-75 HR	Oui	"
	5590	résistance	5%, 40-80 HR	Oui	"
Wautrous		extensométrique		Non	Lauzon Music

* Entreprise ayant les rapports les plus étroits avec le fabricant lorsque celui-ci n'a pu être rejoint.

** Précision prétendue pour une température particulière ou d'une gamme particulière de températures.

*** Hygromètre ayant la capacité d'enregistrer les degrés d'humidité les plus élevés et les plus bas.

3.3 Choix d'hygromètres à tester

Six différents hygromètres que le consommateur peut se procurer pour moins de 100 \$ ont été désignés pour les tests. Ces appareils faisaient appel à un capteur extensométrique ou à un capteur à résistance. Deux instruments commerciaux ont également été testés en parallèle.

Les modèles Springfield 1803 et Taylor 5547 sont les hygromètres les plus faciles à se procurer. Ce sont deux modèles d'hygromètres extensométriques reliés directement à un cadran de lecture de l'humidité relative. Il n'a pas été possible d'obtenir les caractéristiques d'exactitude de l'un ou l'autre modèle.

Les hygromètres de prix et de performances supérieurs sont fabriqués par Taylor, Brooklin et Cole-Parmer. Le modèle Taylor 5565 a été choisi pour représenter les hygromètres extensométriques hauts de gamme pour les tests.

Les hygromètres à résistance revendiquent des degrés d'exactitude semblables, à la moitié du coût des capteurs extensométrique hauts de gamme. Bionaire, Micronta, Cole-Parmer, Instrument Services Laboratories, Canadawide et Fisher Scientific sont distributeurs ou fabricants d'hygromètres à résistance. Les hygromètres BT-252 de Bionaire et 63-844 de Micronta ont été choisis pour représenter ce groupe.

Les deux instruments commerciaux testés en parallèle étaient le modèle Enercorp HD-T-420 et le modèle Johnson Controls HE-6300. L'hygromètre Enercorp est le seul instrument capacitif du groupe soumis aux tests. Il revendiquait une précision de 3 % dans la gamme des degrés d'humidité relative de 10 à 90 %.

Tableau 3 : Hygromètres choisis pour les tests

Modèle testé	Group représentatif	Type
Taylor 5547	capteurs à faible coût	extensométrique
Springfield 1803	capteurs à faible coût	extensométrique
Taylor 5565	capteurs hauts de gamme	extensométrique
Micronta 63-844	capteurs de gamme moyenne	à résistance
Bonaire BT-252	capteurs de gamme moyenne	à résistance
Johnson Controls HE-6300	capteur commercial	à résistance, polymère
Enercorp HD-T420	capteur commercial	capacitif

4.0 TESTS DES HYGROMÈTRES

Une série de tests a été mise au point dans le but d'étudier l'exactitude des capteurs dans la plage des degrés d'humidité prévue dans une maison. De plus, les hygromètres ont été exposés au gel et à la condensation, de même qu'à des contaminants domestiques. L'exactitude des capteurs a de nouveau été soumise à une vérification afin de déterminer l'effet des conditions extrêmes sur les capteurs.

4.1 Exactitude des hygromètres : Méthodes d'essai

L'exactitude des hygromètres a été mesurée dans un banc d'essai qui pouvait être maintenu à une température constante, assortie d'une gamme d'humidité relative variant entre 0 et 100 %. L'humidité du banc d'essai a été établie selon le rapport de mélange d'air sec et d'air saturé. L'assèchement de l'air a été réalisé à l'aide d'un dispositif d'assèchement de l'air. L'air saturé a été produit en soufflant de l'air dans une colonne d'eau de quatre pieds. L'humidité relative de la chambre d'essai pouvait alors être calculée en fonction de la teneur en eau du mélange d'air admis et de la température du banc d'essai.

Puisque le débit admis dans la chambre d'essai était relativement faible, il a fallu attendre au moins trois heures avant que le banc d'essai et les hygromètres atteignent leur état d'équilibre. En conséquence, on n'a pu prendre plus de deux mesures chaque jour.

Le banc d'essai était constitué par une chambre intérieure hermétique (50 cm x 37 cm x 38 cm) dans laquelle le mélange d'air parvenait et par une chambre extérieure dotée d'un dispositif de commande de la température. La plage de température de la chambre intérieure, contenant les hygromètres, était commandée en chauffant ou en refroidissant l'air de la chambre extérieure. La différence de température du matériel variait entre 10°C et 30°C.

La chambre intérieure était fabriquée de tôle d'aluminium. Des joints d'étanchéité en caoutchouc, des dispositifs de débit d'air en laiton, des supports d'acier pour les capteurs, des fenêtres de "plexiglass" et des égalisateurs de débit en "plexiglass", étaient également en contact avec le milieu contrôlé. La chambre extérieure était réalisée en bois et isolée d'un pouce et demi d'isolant rigide.

Les joints de caoutchouc étaient les seuls composants hygroscopiques exposés au milieu contrôlé. La présence de toute matière hygroscopique à l'intérieur de la chambre à atmosphère contrôlée a eu pour effet de prolonger le délai avant que l'humidité parvienne à l'équilibre. Par contre, la faible quantité de joints risque peu d'avoir influé sur le délai de réaction du banc d'essai.

Dans certains cas, la crête des courbes d'humidité relative apparaît au même endroit pour tous les hygromètres. Puisque tous les hygromètres les enregistrent, les crêtes résultent probablement du fonctionnement du banc d'essai, plutôt que des capteurs proprement dits. Il ne saurait être question de mettre en cause le délai avant que les capteurs et la chambre atteignent l'équilibre, puisque la plupart ont eu de 16 à 24 heures avant de fixer les débits et de prendre les mesures. L'explication la plus plausible serait la variation de la température de la colonne d'eau à travers laquelle l'air saturé passe. Si cette fluctuation de température se produit avant d'effectuer le relevé d'humidité, l'humidité calculée dans le banc d'essai sera inexacte. Le faible nombre de pointes indique qu'il ne s'agit pas d'une importante anomalie, puisqu'elles ne touchent que peu de mesures.

4.2 Environnement domestique type

Les hygromètres ont été soumis à une série de degrés d'humidité représentant les extrêmes habituels d'un milieu domestique. Les capteurs ont été testés en 67 points aléatoires entre 0 et 82 % d'humidité relative. L'humidité du banc d'essai a fait l'objet d'un cycle entre les limites supérieure et inférieure de la gamme d'humidité. Une fois le niveau d'humidité établi, une période d'attente minimale de trois heures visait à laisser le temps à la fois au banc d'essai et aux capteurs d'atteindre leur équilibre. La température du banc d'essai au cours de cette série de tests s'échelonnait entre 20°C et 25°C.

Les résultats de ces tests sont reproduits aux figures 1 à 8. Les mesures d'humidité ont été tracées par ordre ascendant de façon à illustrer les variations entre les mesures obtenues par les hygromètres et les valeurs calculées.

D'importants problèmes d'étalonnage à zéro ont été observés dans deux des appareils Springfield 1803, tous les modèles Taylor 5547 et les deux appareils Thermo-Hydro. Le même phénomène a été observé pour les hygromètres Bonaire, quoique dans une moindre mesure.

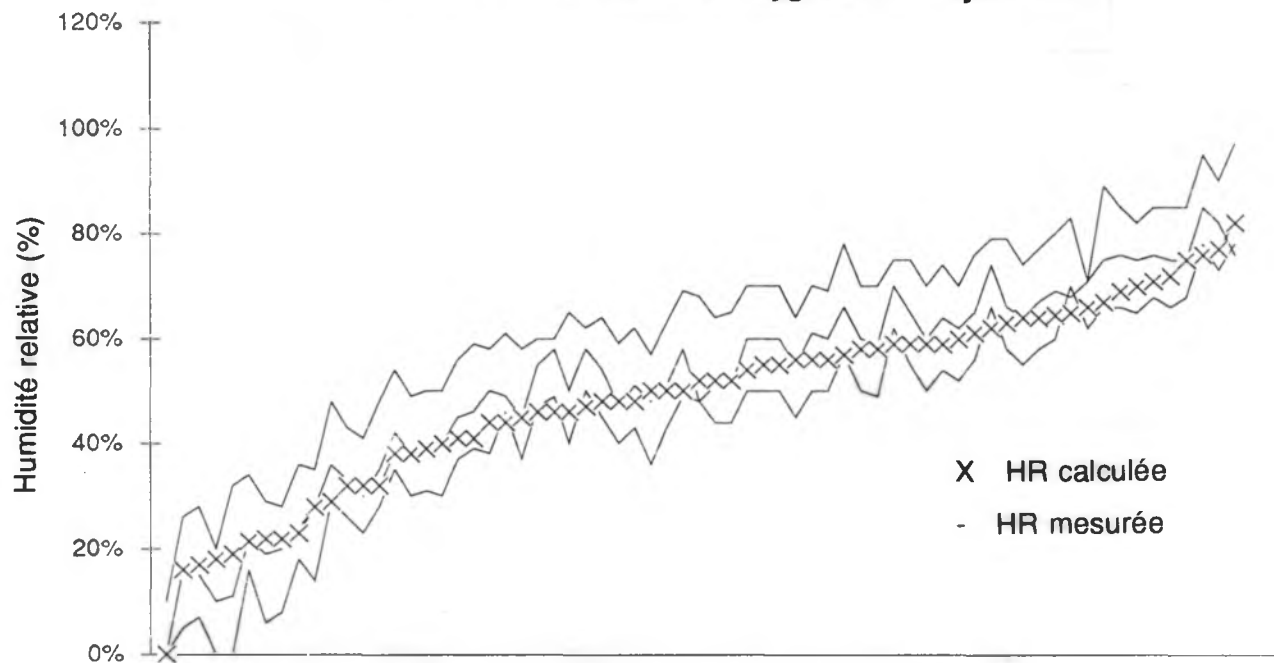
Le problème occasionne des lectures constamment erronées. Par contre, une simple méthode d'étalonnage permet de compenser toute erreur à zéro. Dans la gamme de 0 à 50 % d'humidité, le modèle Taylor 5565 a subi une importante déviation, que le propriétaire-occupant ne peut corriger.

Lors du test, l'un des hygromètres Springfield 1801 (capteur n° 6) a indiqué des degrés d'humidité relative très proches des valeurs calculées, alors que les autres hygromètres Springfield comportaient des erreurs à zéro de 20 % d'humidité relative. Ce constat démontre, que bien étalonnés, ces capteurs très peu coûteux donnent des résultats acceptables.

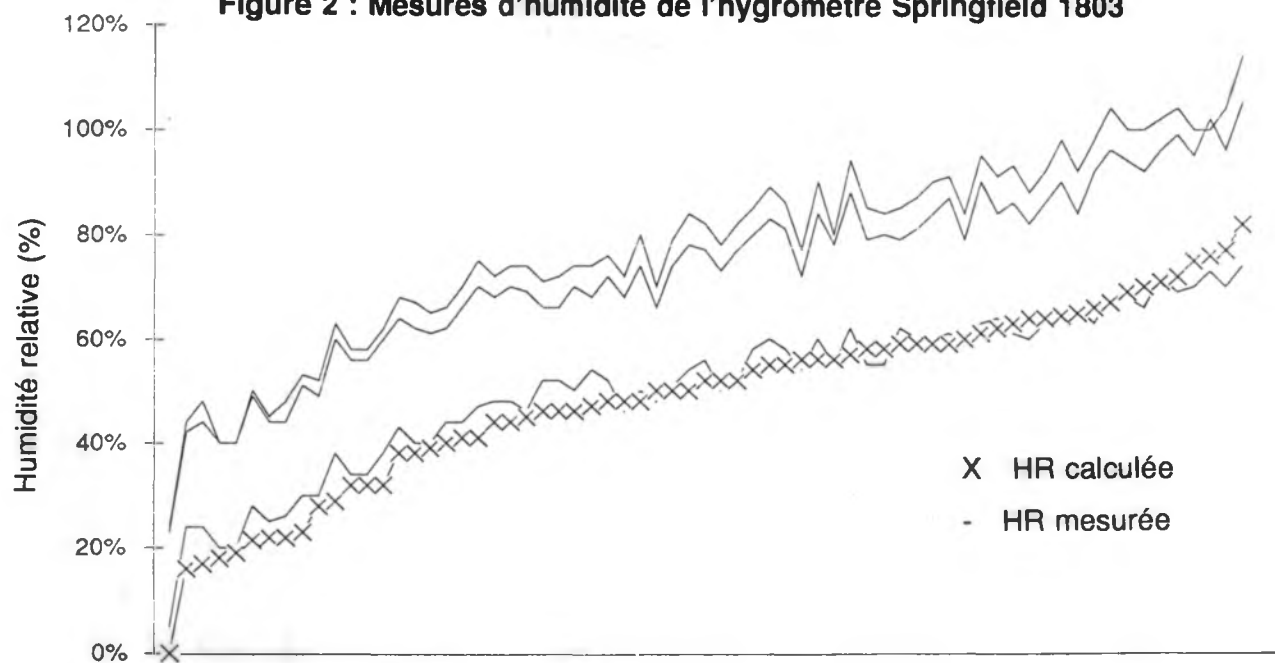
Même si la période de huit mois des tests d'hygromètres est assez courte par rapport à la durée des appareils, le fait de soumettre cycliquement le banc d'essai à un extrême et à l'autre accélère davantage le vieillissement des hygromètres que s'ils étaient exposés à des niveaux relativement stables à la maison.

Comme prévu, les hygromètres à résistance (Bonaire BT-252, Micronta 63-844 et Thermo-Hydro) ont affiché une piètre performance dans la gamme d'humidité de 0 à 20 %. À de faibles taux d'humidité, soit que l'hygromètre clignotait, qu'il continuait d'effectuer des relevés au minimum de sa plage de fonctionnement (en général 20 %) ou qu'il indiquait des lectures très erronées. Ces hygromètres afficheraient tout de même de faibles degrés d'humidité dans les habitations.

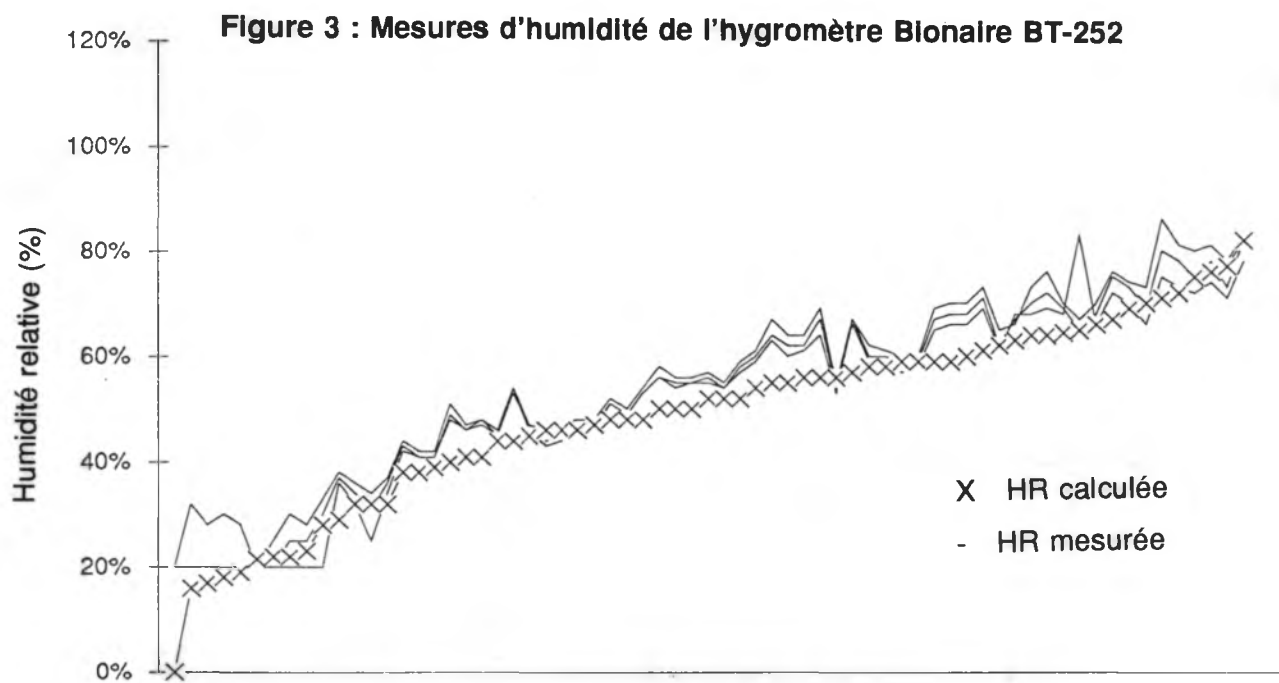
L'hygromètre Johnson HE 6300 s'est mal comporté lors de ces tests. Cet hygromètre était raccordé au système d'acquisition de données. Il se peut que le capteur n'ait pas été compatible avec le système d'acquisition de données employé ou que le capteur lui-même ait été défectueux.

Figure 1 : Mesures d'humidité de l'hygromètre Taylor 5547

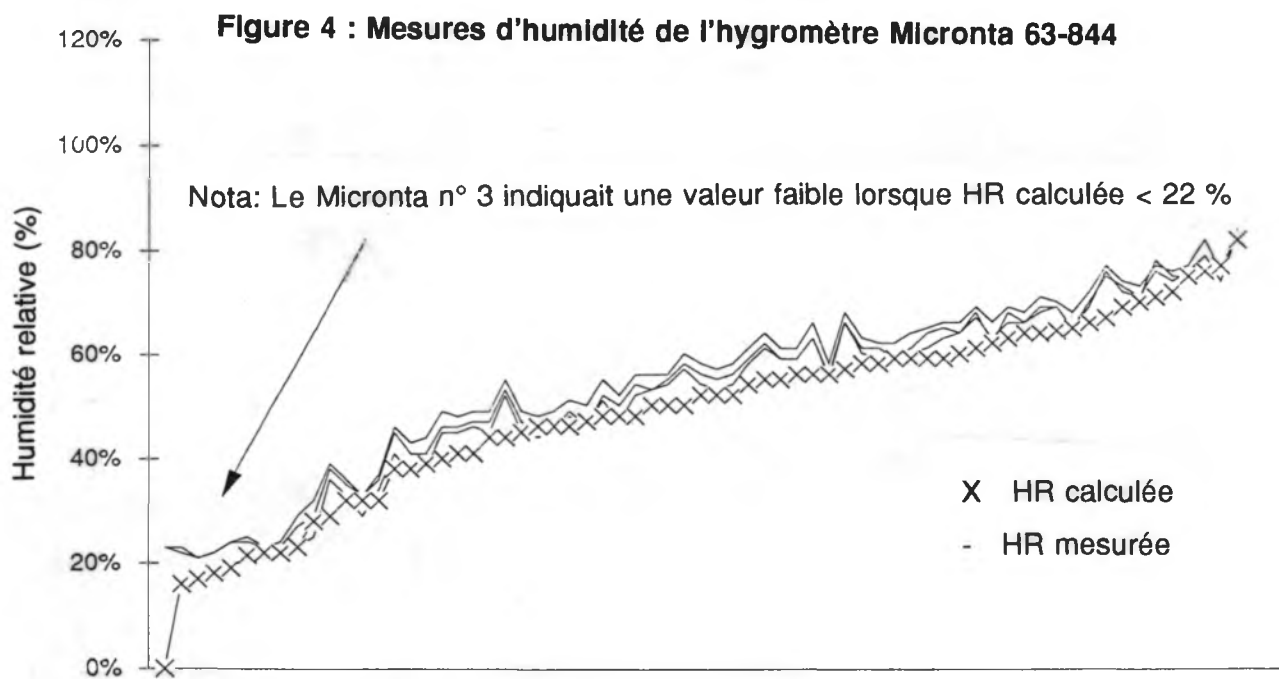
**Résultats des essais tracés par ordre croissant
de taux d'humidité relative (HR) mesuré**

Figure 2 : Mesures d'humidité de l'hygromètre Springfield 1803

**Résultats des essais tracés par ordre croissant
de taux d'humidité relative (HR) mesuré**

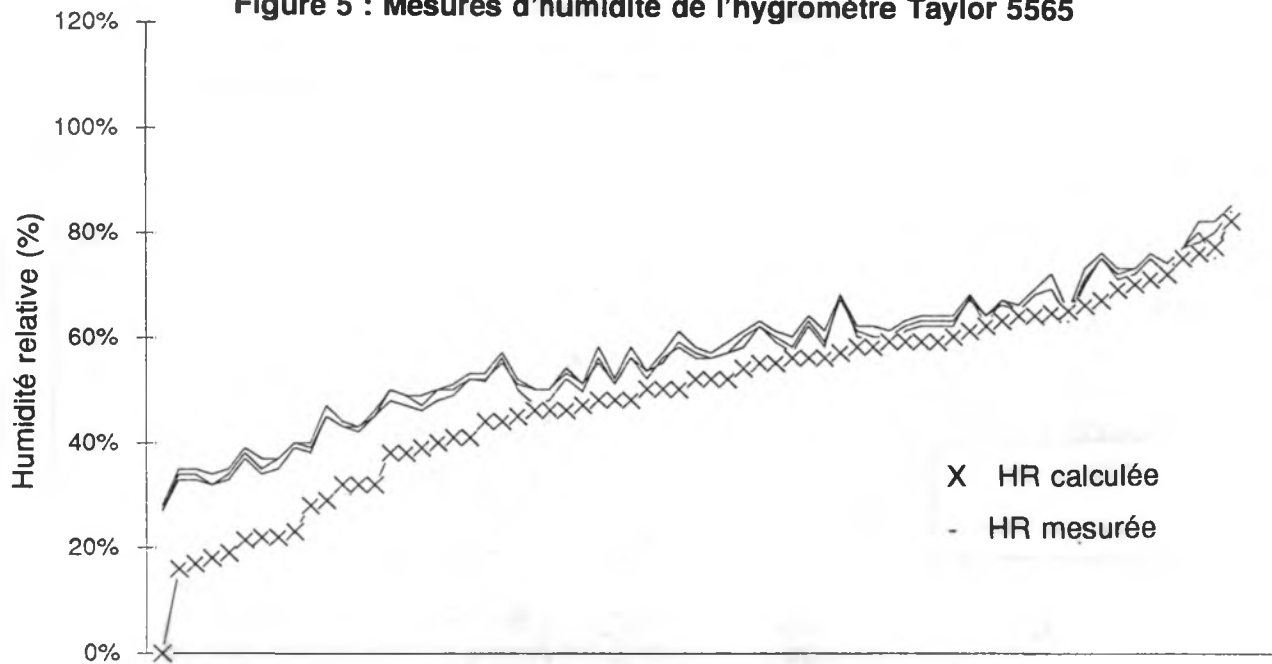


Résultats des essais tracés par ordre croissant
de taux d'humidité relative (HR) mesuré



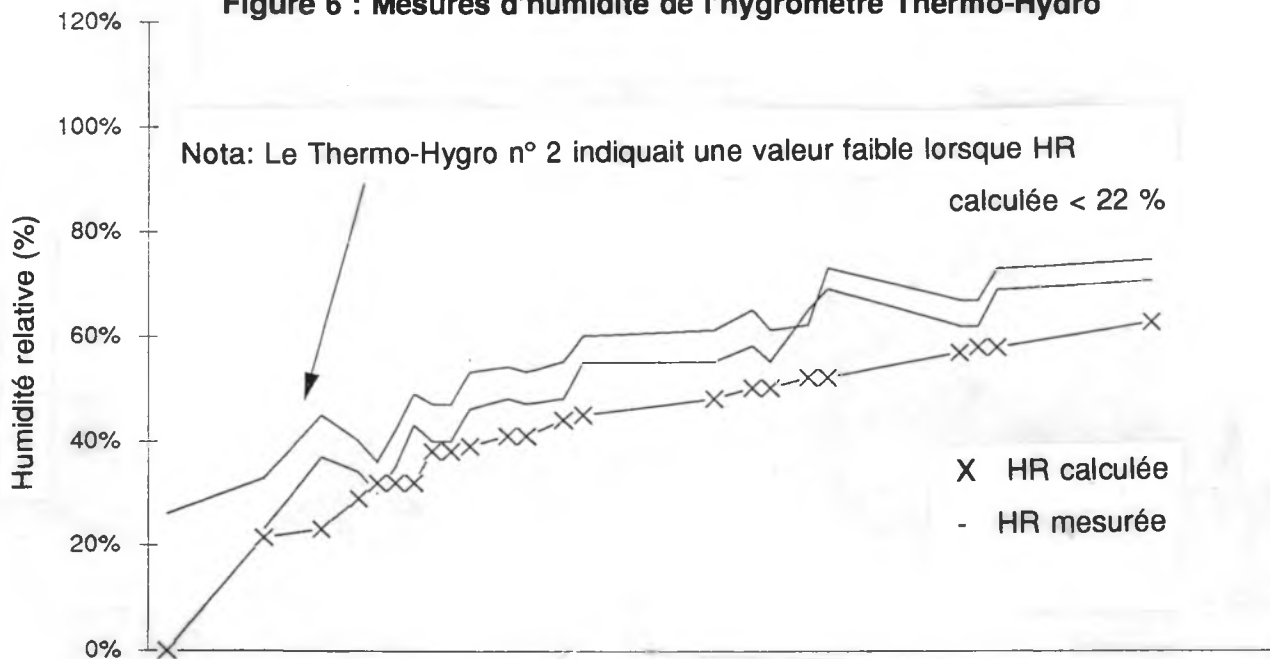
Résultats des essais tracés par ordre croissant
de taux d'humidité relative (HR) mesuré

Figure 5 : Mesures d'humidité de l'hygromètre Taylor 5565



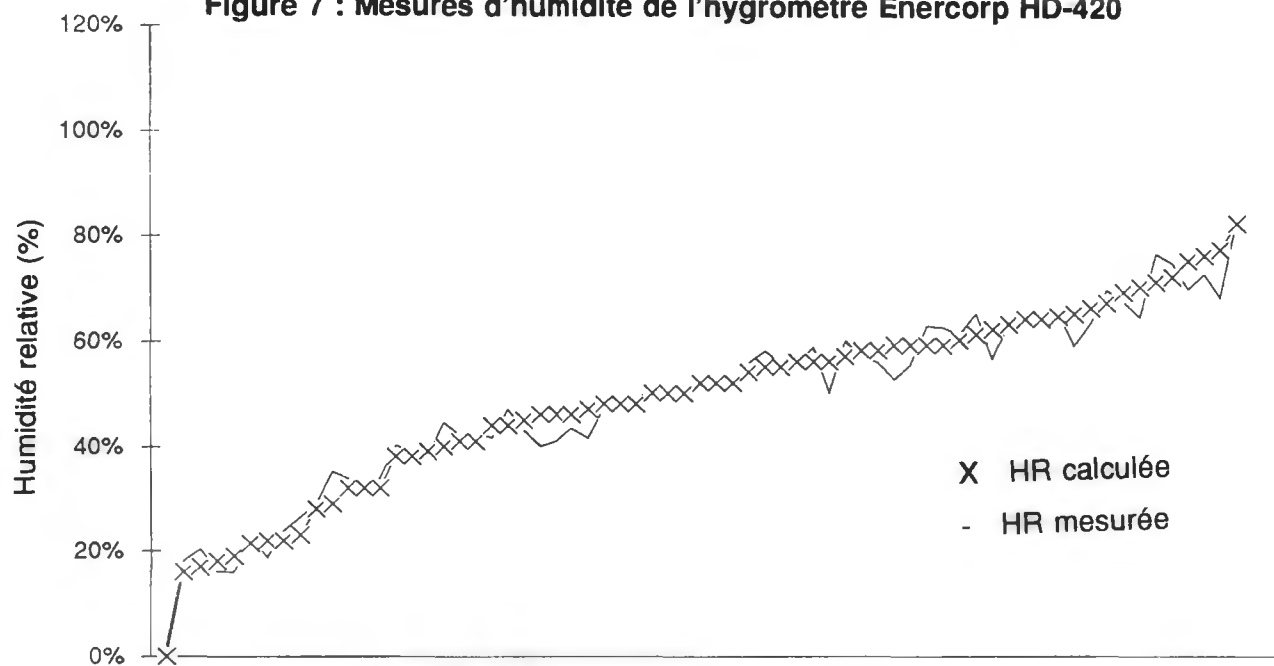
Résultats des essais tracés par ordre croissant de taux d'humidité relative (HR) mesuré

Figure 6 : Mesures d'humidité de l'hygromètre Thermo-Hydro



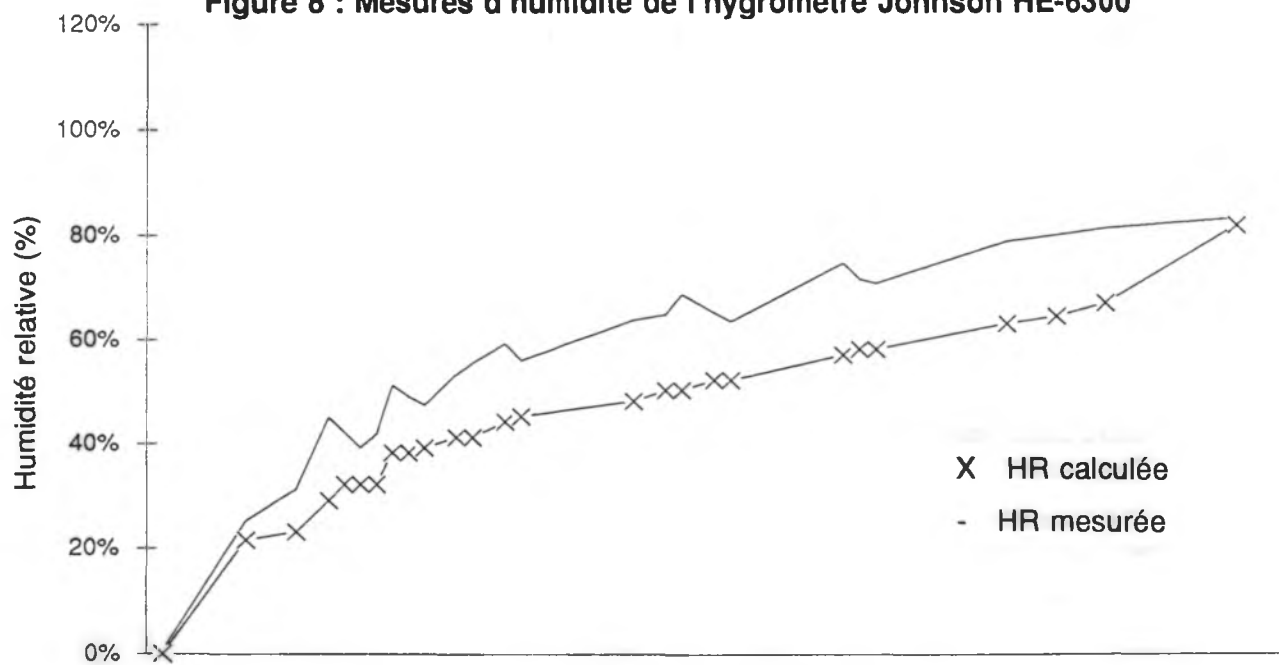
Résultats des essais tracés par ordre croissant de taux d'humidité relative (HR) mesuré

Figure 7 : Mesures d'humidité de l'hygromètre Enercorp HD-420



**Résultats des essais tracés par ordre croissant
de taux d'humidité relative (HR) mesuré**

Figure 8 : Mesures d'humidité de l'hygromètre Johnson HE-6300



**Résultats des essais tracés par ordre croissant
de taux d'humidité relative (HR) mesuré**

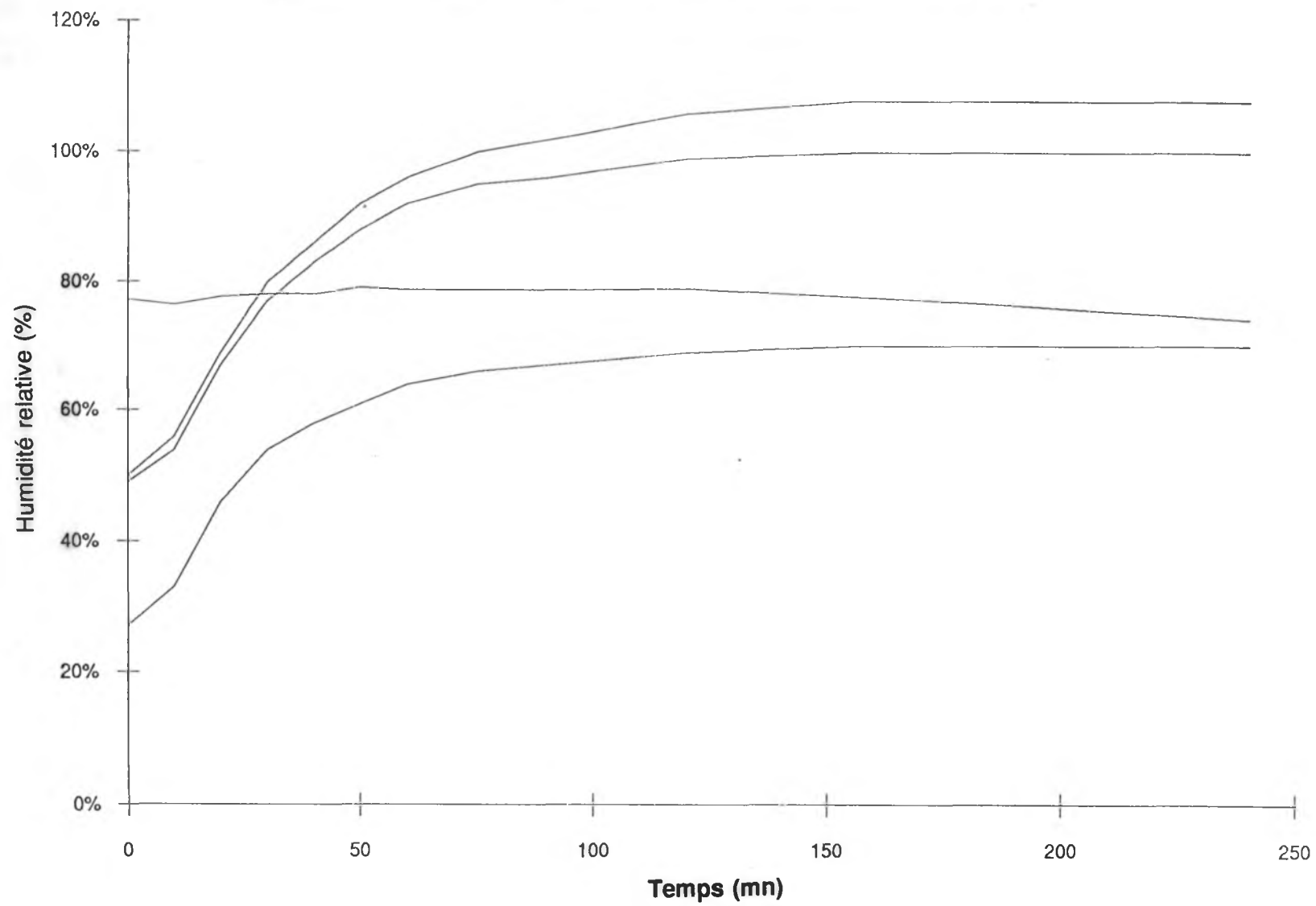
4.2.1 Réaction transitoire des hygromètres

L'étude de la réaction transitoire des capteurs visait à évaluer leur capacité à détecter de brusques variations du degré d'humidité. Étant donné que le banc d'essai avait un taux de renouvellement d'air infime, il lui a fallu beaucoup de temps pour atteindre l'équilibre en matière d'humidité. Pour les besoins de la comparaison, l'hygromètre Enercorp sera considéré pour détecter avec exactitude le degré d'humidité du banc d'essai.

Les hygromètres sont censés avoir atteint l'équilibre lorsque la courbe transitoire prend une allure horizontale. L'humidité relative calculée tracée en plus de la réaction transitoire change légèrement durant tout le test en raison de la variation de la température de l'eau saturée.

La plupart des hygromètres ont eu besoin de 120 à 150 minutes avant d'atteindre l'équilibre. La différence dans le temps de réaction entre les capteurs scientifiques et les instruments moins coûteux était relativement faible. Il n'existe aucune corrélation entre le type de capteur (à résistance, capacitif ou extensométrique) et le délai de réaction.

Les résultats des tests transitoires des hygromètres Springfield 1803 sont reproduits à la figure 9 à titre d'exemple. Ceux de tous les hygromètres font l'objet de l'Annexe A.

Figure 9 : Réponse transitoire de l'hygromètre Springfield 1803

4.2.2 Performance des capteurs exposés aux températures basses (10 à 15°C)

Dans le but d'étudier les effets des températures basses sur l'exactitude des hygromètres, les instruments ont été testés à 17 degrés d'humidité relative différents alors que la température s'échelonnait entre 10 °C et 15 °C, conditions que l'on retrouve dans les sous-sols d'habitations l'hiver. Les résultats de ces tests effectués avec l'hygromètre Micronta 63-844 sont indiqués à titre d'exemple à la figure 10. Les résultats obtenus à températures basses à l'égard de tous les hygromètres paraissent à l'Annexe B.

Les températures basses ont nui à la réaction de plusieurs hygromètres, surtout des capteurs à résistance.

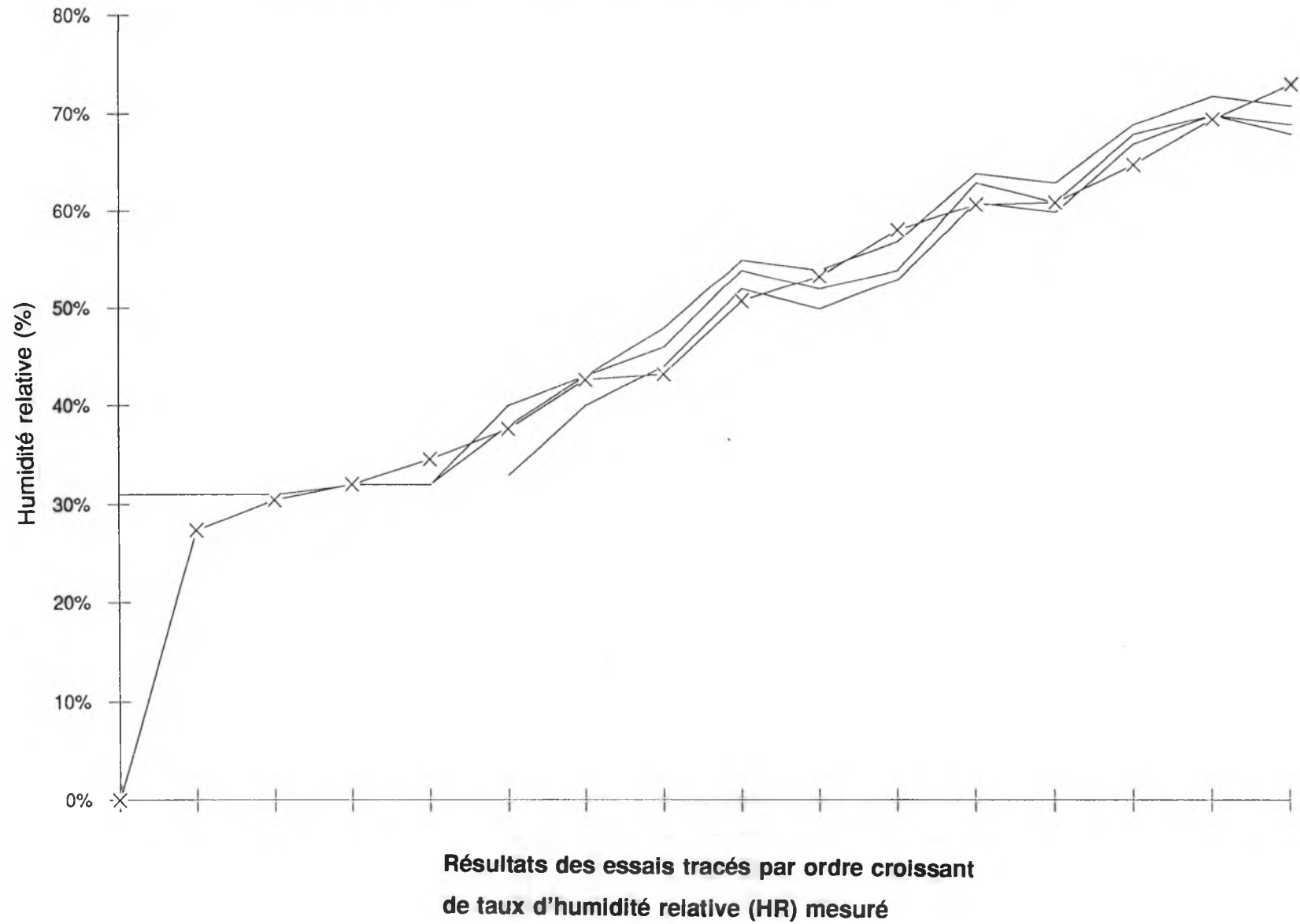
L'exactitude des hygromètres Taylor 5547, Springfield 1803 et Taylor 5565 (extensométrique) a peu changé aux températures basses. L'hygromètre Taylor 5565 a continué d'indiquer des valeurs exagérées aux taux d'humidité faibles.

Les hygromètres Bonaire BT-252 et Micronta 63-844 (tous deux à résistance) réagissaient mal aux températures ou humidités relatives basses. Les lectures prélevées sur deux instruments Bonaire ont accusé une baisse spectaculaire pour les degrés d'humidité calculés inférieurs à 40 %. Le troisième instrument Bonaire affichait une lecture minimale de 28 % HR. Deux des hygromètres Micronta affichaient une lecture minimale d'humidité de 31 %, alors que le troisième a cessé de fonctionner en deçà de 35 % HR.

Comme pour les autres hygromètres à résistance, les appareils Thermo-Hydro ont cessé de fonctionner en-dessous des degrés d'humidité calculés de 30 %. Par contre, dans la gamme d'humidité supérieure, l'exactitude de ces hygromètres aux températures basses s'est améliorée par rapport à l'exactitude de la température ambiante.

Nous en avons déjà fait état, les hygromètres à résistance ne fonctionnent pas bien à de faibles taux d'humidité. L'erreur des mesures d'humidité augmente à de faibles taux d'humidité alors que la résistance du capteur s'approche de l'infini. Il semble que les températures basses accentuent l'inexactitude des hygromètres à résistance à de faibles degrés d'humidité. Cette situation est imputable à la moindre teneur en eau requise dans l'air aux températures basses pour produire la même humidité relative.

L'hygromètre Enercorp a sous-estimé le degré d'humidité aux températures basses de 5 à 10 %.

Figure 10 : Mesure d'humidité de l'hygromètre Micronta 63-844 (10-15 °C)

4.3 Effets du gel et de la condensation

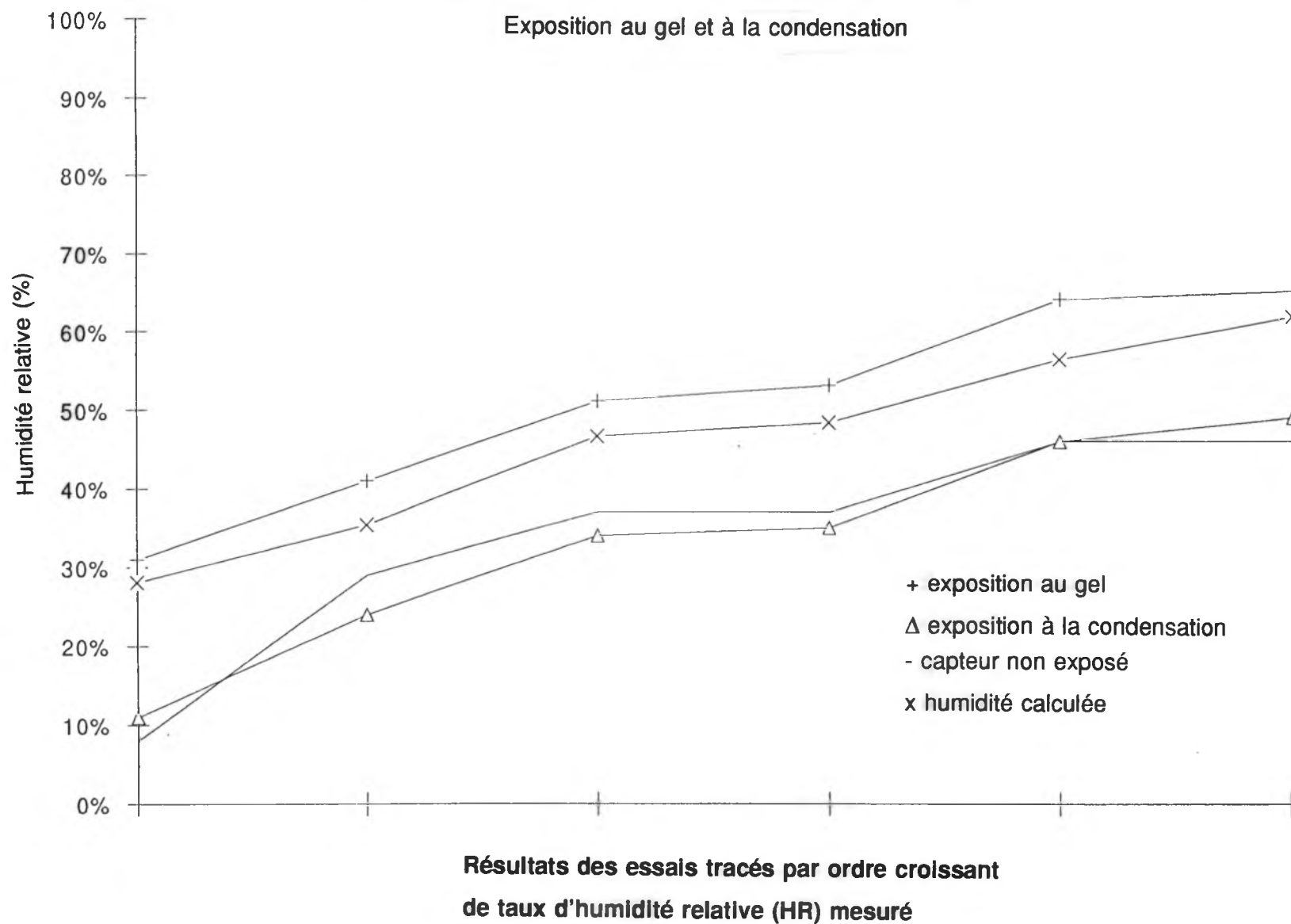
Un hygromètre de chacun des modèles testés (sauf les instruments scientifiques) a été placé dans un congélateur pendant 3 jours à une température d'environ $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Un autre jeu de capteurs a été soumis à la condensation, ayant été enfermés avec un humidificateur à air chaud dans un sac de plastique hermétique pendant la même période. Pour éliminer tout effet temporaire dû au gel ou à la condensation, on a attendu 48 heures avant de reprendre les tests d'hygromètres.

Les hygromètres placés dans le congélateur affichaient une vaste gamme de degrés d'humidité, s'échelonnant de sec à complètement saturé. Les capteurs n'étaient vraisemblablement pas conçus pour de telles conditions extrêmes, donnant des mesures erronées.

Exposés à la condensation, les hygromètres mesuraient des degrés d'humidité passant de 80 à 110 %. Pendant tout le processus, de l'humidité se formait sur les capteurs et sur le sac de plastique les enveloppant de même que sur l'humidificateur. Lorsqu'ils ont été enlevés de l'humidificateur, on a retrouvé de l'humidité à l'intérieur de plusieurs des appareils. Le liquide fut en grande partie enlevé des capteurs. Comme prévu, il a fallu attendre plusieurs heures avant que les hygromètres puissent fonctionner normalement.

L'exactitude des hygromètres fut de nouveau testée au moyen des méthodes décrites précédemment. En comparant les résultats de ces tests aux réactions obtenues avant les tests de gel et de condensation, nous avons découvert qu'une exposition prolongée à ces conditions exerçait peu d'effet sur le fonctionnement des hygromètres.

Les résultats de ces tests effectués sur l'appareil Taylor 5547 sont reproduits à la figure 11 à titre d'exemple. Les résultats complets obtenus à l'égard de tous les capteurs domestiques figurent à l'Annexe C.

Figure 11 : Mesure d'humidité de l'hygromètre Taylor 5547

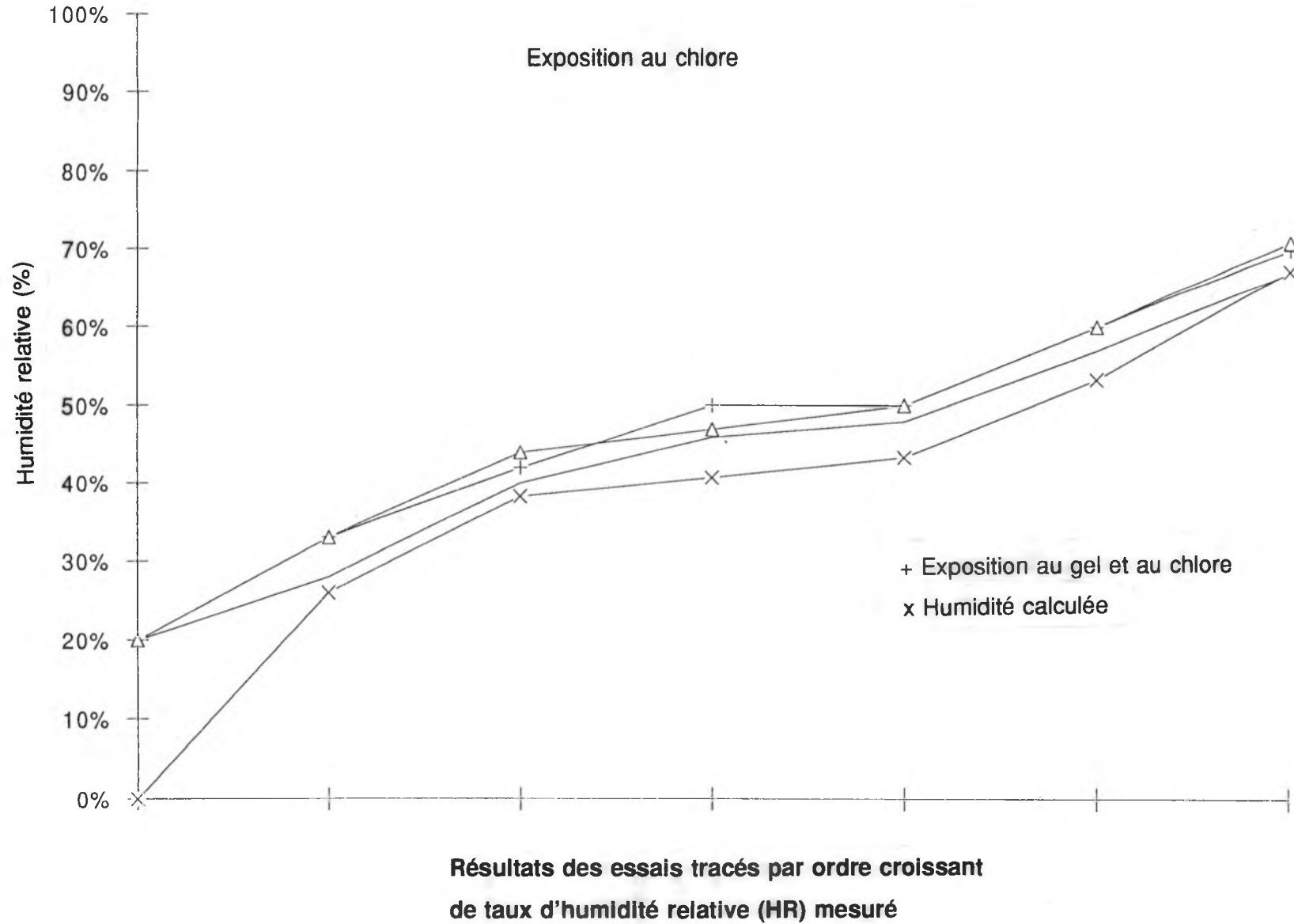
4.4 Effets des contaminants domestiques

Les hygromètres sont souvent exposés à des polluants produits lors d'activités quotidiennes domestiques. Le chlore de l'eau de javel constitue un produit chimique couramment employé comme agent de nettoyage ou désinfectant. En raison de son usage généralisé dans l'habitation et de ses propriétés corrosives, l'eau de javel a été choisi pour représenter le contaminant auquel les hygromètres seraient vraisemblablement exposés à la maison.

Un jeu de capteurs a été soumis au chlore, étant suspendus dans un espace clos au-dessus d'un mélange d'eau de javel au chlore pendant environ une semaine. Le mélange au chlore affichait une proportion de 1/10 d'eau de javel et d'eau. Les hygromètres ont mesuré l'humidité entre 75 et 85 % dans le contenant, qui était suffisant pour bien exposer les capteurs au chlore.

Les hygromètres utilisés pour le test au chlore étaient les mêmes qui avaient été employés lors des tests de gel dont il est question en 4.3. Il a fallu attendre 24 heures avant d'exposer les capteurs et de les tester afin d'éliminer tout effet temporaire du blanc de lessive.

Le seul capteur qui a été touché par la contamination au chlore fut l'hygromètre Thermo-Hygro. Après son exposition, le capteur affichait une humidité relative de 95 % en toute situation. Cette situation a été temporaire, et le capteur est revenu à la normale après l'achèvement des tests d'exactitude. Les autres capteurs ont affiché un comportement habituel après la contamination au chlore. Les résultats de ces tests effectués avec l'hygromètre Bionaire BT-252 sont reproduits à la figure 2 à titre d'exemple; ceux de tous les hygromètres domestiques le sont à l'Annexe D.

Figure 12 : Mesure d'humidité de l'hygromètre Bonaire BT-252

5.0 MÉTHODES D'ÉTALONNAGE

5.1 Objet d'une méthode d'étalonnage

Comme l'indique la section précédente, de nombreux hygromètres attestent divers degrés de problèmes d'étalonnage zéro. On s'attend à ce qu'au fil du temps les capteurs dérivent et nécessitent un réétalonnage. Le propriétaire-occupant soucieux d'obtenir un relevé fidèle du degré d'humidité doit pouvoir compter sur une technique d'étalonnage simple à exécuter une fois l'an.

Les techniques classiques servant à étalonner les hygromètres se révèlent coûteuses en plus de nécessiter en général l'intervention de techniciens expérimentés. La méthode la plus simple d'étalonner des hygromètres consiste à les comparer à un autre reconnu pour son exactitude. Par contre, la plupart des propriétaires-occupants ne pourront pas facilement bien étalonner leur hygromètre. Les mesures d'humidité horaires sont prises aux différents aéroports par Environnement Canada et permettent d'établir des comparaisons pour un hygromètre domestique.

L'hypothèse de travail d'une méthode d'étalonnage veut que si l'hygromètre était laissé à l'extérieur à un endroit ombragé lors d'un jour de vent avec une pression atmosphérique élevée (généralement associée à des conditions d'ensoleillement), l'humidité relative indiquée pourrait être comparée aux données météorologiques prises en mi-journée à l'aéroport local.

5.2 Conditions de test optimales

Dans le but d'en arriver à des niveaux d'humidité relative plus uniformes dans toute une région, il est essentiel de compter sur des conditions météorologiques stables. Puisque les systèmes météorologiques de haute pression assurent des conditions uniformes à l'intérieur d'eux-mêmes, ils fournissent d'excellentes occasions de comparer l'humidité relative. Les vents élevés améliorent le mélange de l'air, éliminant ainsi les poches d'humidité élevée. Le meilleur moment de la journée pour effectuer des relevés, c'est en début d'après-midi. Les matinées et les soirées sont associées avec des changements rapides de température et d'humidité, faisant varier les conditions localement. Des températures extérieures modérées (environ 20 °C) font en sorte que

l'étalonnage se produit aux températures intérieures habituelles.

5.3 Méthode d'étalonnage en fonction des données météorologiques

Pour éprouver l'hypothèse, deux tests furent effectués. Dans le premier, un technicien mesure l'humidité relative à différents endroits à Ottawa au moyen d'un psychromètre crécelle (sling psychrometer) et deux autres détecteurs d'humidité, soit un psychromètre à aspiration et un indicateur d'humidité relative portatif (Novasina). Les degrés d'humidité relevés par Environnement Canada à l'aéroport d'Ottawa ont été obtenus pour les mêmes moments que pour les relevés du psychromètre. Les résultats de cette étude sont reproduits à la figure 37 et au tableau 4. Les températures étaient basses pour ces tests, mais au-dessus du point de congélation.

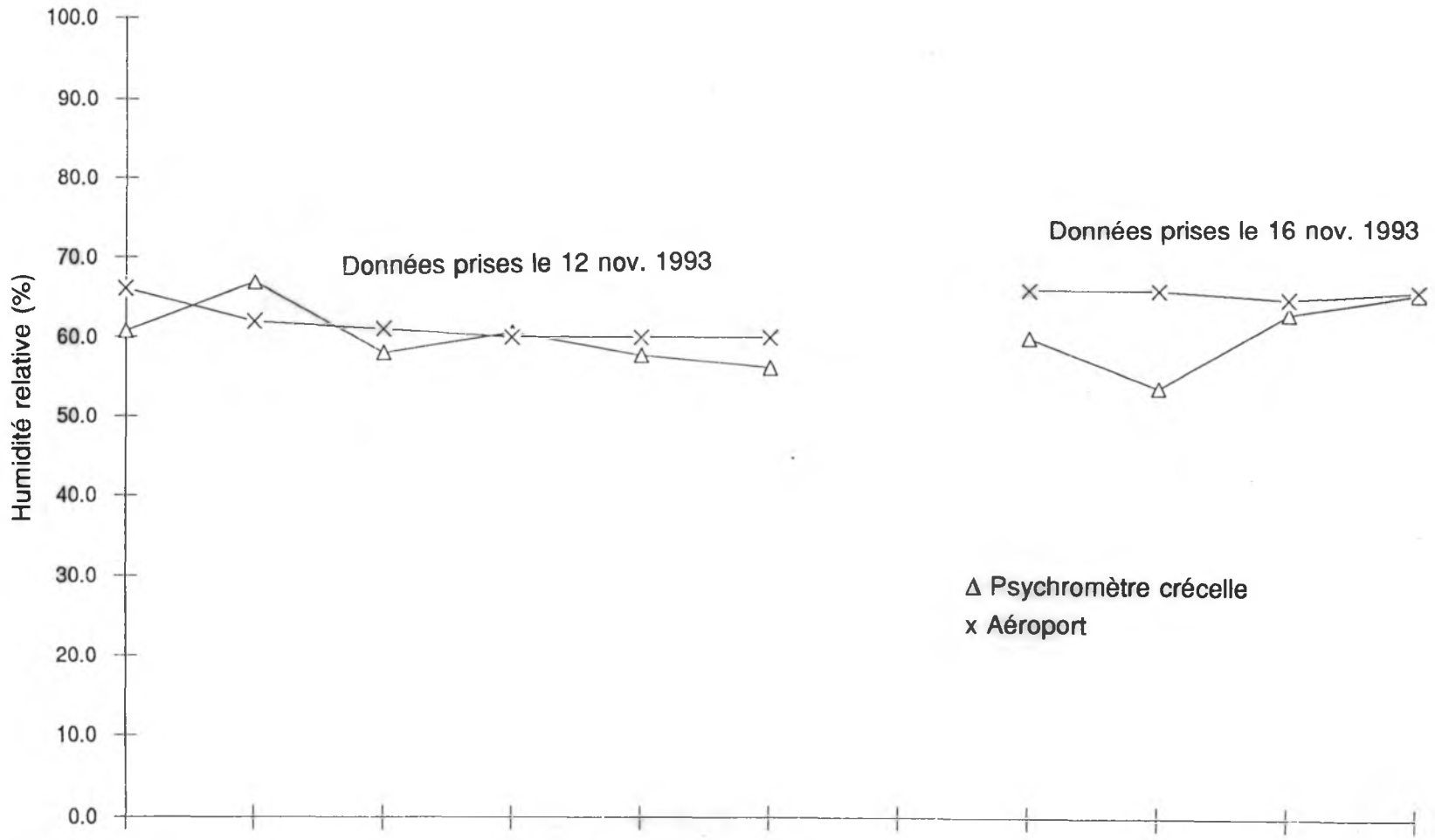
Tableau 4 : Comparaison de l'humidité relative à divers endroits de la ville

			Psychromètre à aspiration	Novasina	Psychromètre crécelle	Aéroport
Date	Heure	Endroit	HR (%)	HR (%)	HR (%)	HR (%)
12 nov.	13 h 50	BLP	46	43	61	66
	14 h 20	SCHL	47	45	67	62
	14 h 50	U d' O.	48	47	58	61
	15 h 20	Ferme. expérim.	57	54	61	60
	16 h 00	Aéroport	64	54	58	60
	16 h 45	Bayshore	67	55	56	60
16 nov.	11 h 00	BLP	53	53	60	66
	12 h 00	SCHL	51	54	54	66
	15 h 00	Aéroport	55	57	63	65
	15 h 30	Ferme expérim.	62	63	66	66

Les mesures prises à l'aéroport et les taux d'humidité mesurés au moyen du psychromètre crécelle affichent un degré d'exactitude raisonnable. L'écart observé entre l'humidité relative du psychromètre et celles mesurées à l'aéroport s'échelonne entre 0 et 12 % d'humidité relative. L'écart est tombé à 2 % d'humidité relative pour les relevés du psychromètre pris à l'aéroport. En conséquence, mesurer l'humidité à l'aéroport donnerait des résultats plus semblables aux mesures d'humidité d'Environnement Canada.

Bien que les résultats du psychromètre crécelle concordent bien avec les relevés pris à l'aéroport pour cette série de tests, les deux autres instruments ont montré d'importantes différences et erreurs dans les relevés d'humidité relative par rapport aux mesures prises à l'aéroport et d'un appareil à l'autre. Cette situation illustre qu'il est difficile de trouver des instruments précis pour étalonner les hygromètres domestiques.

Figure 13 : Comparaison de l'humidité relative (HR) mesurée par rapport aux données de l'aéroport



Résultats des essais de taux d'humidité relative (HR) mesuré

5.4 Comparaison des taux d'humidité relevés aux aéroports de Gatineau et d'Ottawa

Le deuxième test de comparaison a fait appel à des mesures prises aux deux aéroports de la région d'Ottawa, situés à 28 km l'un de l'autre. Les données de l'aéroport de Gatineau et d'Ottawa furent recueillies pour le mois d'août 1993. Conformément aux recommandations formulées à la section 5.2, les mesures prises à 12 h 00 lors de journées venteuses, à pression atmosphérique élevée, ont été comparées aux deux aéroports. Si l'hypothèse s'avérait bonne, le taux d'humidité relative serait sensiblement le même pendant ces périodes de test. Les résultats paraissent au tableau 5.

Tableau 5 : Comparaison des données obtenues aux aéroports d'Ottawa et de Gatineau

Date	Heure	HR à l'aéroport d'Ottawa	HR à l'aéroport de Gatineau	Δ HR (%)
1 ^{er} août	12 h 00	66	62	4
3 août	12 h 00	57	56	1
5 août	12 h 00	56	57	1
6 août	12 h 00	56	58	2
9 août	12 h 00	54	51	3
18 août	12 h 00	61	60	1
21 août	12 h 00	55	62	7
25 août	12 h 00	74	69	5
26 août	12 h 00	62	64	2
27 août	12 h 00	62	65	3
30 août	12 h 00	57	60	3

Conditions météorologiques : vitesse du vent < 10 km/h;

pression atmosphérique > 101 km;

heures d'ensoleillement > 10 h.

La comparaison des données obtenues des aéroports montre la constance raisonnable des degrés d'humidité relative pour les conditions énoncées à la section 5.2. La différence variait entre 0 et 7 %. Les résultats des comparaisons des taux d'humidité relative peut fluctuer selon la topographie locale. Ces résultats ne confirment ni n'infirmement clairement la méthode d'étalonnage. D'autres tests sur place en été seraient plus concluants en raison des températures plus chaudes.

6.0 CONCLUSION

Les consommateurs peuvent se procurer pour moins de 100 \$ des hygromètres satisfaisants pour leur usage domestique. Toutefois, d'importantes erreurs d'étalonnage à zéro ont été observées dans environ la moitié des hygromètres testés dans le cadre de la présente étude. Bien étalonnés, la plupart des hygromètres donnaient des résultats acceptables.

Les hygromètres Micronta 63-844 et Bionaire BT-252 ont affiché une bonne performance dans des milieux domestiques types. Les hygromètres à résistance testés n'ont pas pu donner des relevés précis à des taux d'humidité faibles. À des températures basses, le problème s'amplifiait. Les modèles Taylor 5547, 5567 et Springfield 1803 ainsi que Thermo-Hygro étaient les moins faibles.

L'exposition prolongée au gel et à la condensation n'a pas exercé d'effet permanent sur la performance des hygromètres testés ici. L'exposition au chlore a temporairement influé sur l'exactitude de l'un des hygromètres à résistance.

Les tests préliminaires montrent que les propriétaires-occupants peuvent étalonner leur hygromètre en mesurant l'humidité extérieure et en comparant les résultats obtenus avec les relevés pris par Environnement Canada aux aéroports. Au moment d'étalonner un hygromètre, il faut s'en tenir aux conditions suivantes :

- ° température extérieure d'environ 20 °C
- ° journées ensoleillées, ciel clair, pression atmosphérique élevée
- ° forts vents
- ° relevés effectués au milieu de l'après-midi
- ° hygromètre protégé de l'ensoleillement direct

Le propriétaire-occupant obtiendra un degré d'exactitude légèrement meilleur s'il prend la mesure d'humidité à l'aéroport.