

# Cellule expérimentale en vraie grandeur pour la validation des outils de simulation thermo-hygro-aérauliques

Amandine Piot<sup>1,2</sup>, Charlotte Abelé<sup>1</sup>, Monika Woloszyn<sup>2</sup>, Jean Brau<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CSTB - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment  
24 rue Joseph Fourier, 38400 Saint Martin d'Hères  
amandine.piot@cstb.fr

<sup>2</sup> CETHIL. – Centre de Thermique de Lyon  
INSA Lyon : 20, Av des Arts, 69621 Villeurbanne

---

*RESUME. Un projet d'étude du comportement hygro-thermique d'une maison à ossature bois est en cours, comportant une étude expérimentale et numérique. Le support expérimental, une maison à ossature bois exposée au climat extérieur, est présenté ici, ainsi que les premiers résultats de mesures. Cette expérimentation permettra non seulement d'étudier différents composants d'une maison à ossature bois, mais également de valider un modèle numérique, brièvement décrit, qui à son tour sera utilisé pour une étude paramétrique plus fine.*

*MOTS-CLÉS : cellule expérimentale, ossature bois, validation de modèles hygrothermiques*

---

*ABSTRACT. A study began to analyze the hygrothermal behavior of a wooden frame house, based both on experimentation and numerical modeling. The experimental set-up, a wooden frame house exposed to real exterior climate, is presented here, together with the first measuring results. This experimentation will let us study different components of a wooden frame house, and will be used to validate a numerical model, briefly described in the paper. It will be in turn used to carry out a parametric study.*

*KEYWORDS: test-house, wooden frame house, validation of hygrothermal models.*

---

## 1. INTRODUCTION

Les codes de simulation thermo-hygro-aérauliques couplés des bâtiments permettent d'approcher le comportement énergétique des bâtiments, mais également de mieux comprendre l'impact des transferts de masse, et leurs couplages avec les transferts thermiques. Compte tenu de la physique complexe des transferts couplés, peu de données expérimentales existent à ce jour pour valider ces outils.

Dans le cadre du projet ANR-PREBAT « OPTI-MOB », la construction et l'instrumentation d'une cellule expérimentale ont été réalisées. Un des objectifs de cette cellule à l'échelle 1, soumise au climat extérieur, est de fournir des données permettant de valider les outils de simulation numérique. Pour faciliter cette validation il est préférable de se placer dans un cas où l'impact des transferts de masse est important. Une construction légère, sensible aux transferts de masse (humidité, air) à ossature bois a donc été retenue. La cellule possède une proportion de bois importante afin d'accentuer les phénomènes d'adsorption-désorption d'eau par le bois et les transferts de chaleur au niveau des montants. La cellule est équipée de façon à simuler une occupation (convecteur, humidificateur,

ventilation...). Le protocole expérimental prévoit de réaliser des modifications dans la configuration de la cellule, en particulier sur la constitution des parois, afin de pouvoir étudier l'influence et l'importance de différents composants (pare-air, pare-vapeur, etc.).

Cette cellule est instrumentée de manière à permettre la validation d'un modèle numérique basé sur le modèle HAM-Tools, développé notamment par l'université de Chalmers (Sasic Kalagasidis, 2004) et brièvement présenté dans la suite de cet article. Des modèles de ponts thermiques seront développés et adjoints au modèle de base, qui seront validés par cette expérimentation ; c'est pourquoi l'accent a été mis sur l'instrumentation de différents ponts thermiques (voir les détails au paragraphe suivant).

L'article présentera tout d'abord la cellule expérimentale et son instrumentation, puis donnera les principes du modèle utilisé, avant de présenter les tous premiers résultats de mesure.

## 2. PRESENTATION DU SUPPORT EXPERIMENTAL

### 2.1. DETAILS DE LA CONSTRUCTION

La cellule test, construite sur le site du CSTB à Grenoble, consiste en une reproduction, en petit format (environ 25 m<sup>2</sup> pour 2,50 m de hauteur sous plafond), d'une maison à ossature bois (MOB).



Figure 1 : Photographies de la cellule-test « OPTI-MOB ».

Le principe constructif est basé sur un agrément technique européen (ETA 05) comportant l'avantage d'une forte présence de bois (montants importants, espacement réduit), ce qui maximise les effets des ponts thermiques d'une part, et les différences de cinétique dans la sorption/désorption d'eau d'autre part. Les montants ont une section de 70x165mm, et sont espacés de 60cm. Les panneaux constituant les parois verticales sont détaillés ci-après, figure 2. L'absence de pare-vapeur, dans un premier temps, a été choisie afin d'amplifier les problèmes potentiellement liés aux transferts de vapeur.

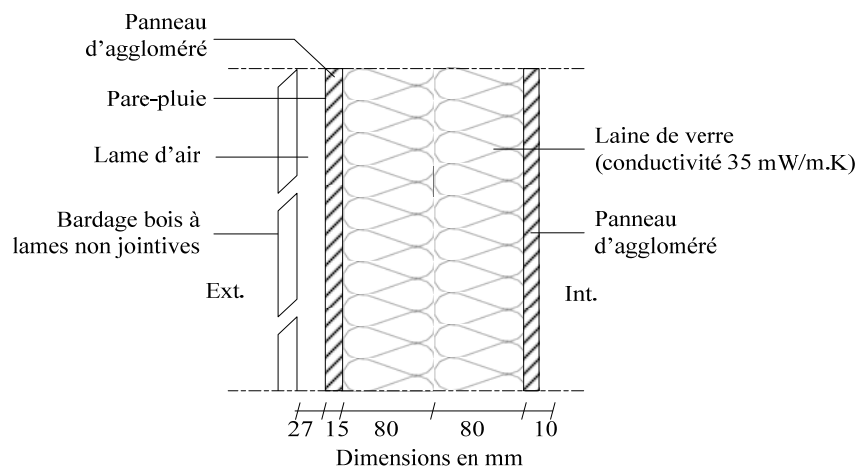


Figure 2 : Coupe verticale schématique de la paroi

Le plancher, ainsi que le plafond, sont plus fortement isolés (400 mm de laine de verre de conductivité 32 mW/m.K), et protégés par deux couches croisées de pare-vapeur, afin de concentrer nos investigations sur les parois verticales, en diminuant les transferts « parasites ».

La pièce étudiée est surmontée d'un comble ventilé naturellement, et est installée sur pilotis de manière à simplifier les conditions aux limites. Un système d'extraction d'air a été mis en place, ainsi qu'un convecteur muni d'un thermostat programmable et un générateur de vapeur par ultra-sons. Ces systèmes sont mis en place afin de simuler une occupation de la pièce.

Le projet prévoit de modifier, par la suite, la configuration des parois, en installant par exemple un pare-vapeur, ou bien en ajoutant une fenêtre (emplacement prévu) ou encore de l'inertie thermique (plaques de béton au sol). Chaque configuration sera analysée durant plusieurs semaines (environ deux à trois mois). Différents types de ventilations seront également étudiés.

## 2.2. DETAILS DE L'INSTRUMENTATION

L'instrumentation se compose de thermohygromètres (mesure de température et d'humidité relative de l'air), de thermocouples, et de fluxmètres. Une sonde platine est installée au centre de la pièce, où une mesure de température opérative est également effectuée par un thermocouple placé dans une sphère noire.

Les thermohygromètres sont utilisés à la fois pour mesurer les conditions de température et d'humidité dans la pièce (à 3 hauteurs différentes au centre, ainsi que sur un pied mobile), et dans les parois. Des mesures sont effectuées à différentes profondeurs dans les parois, en partie courante (5 points de mesure à l'est et à l'ouest, 3 au nord et au sud) et contre les montants (3 points de mesures). Des capteurs sont également mis en place à proximité des ponts thermiques potentiels (jonction entre murs, avec le plancher, etc.) afin d'évaluer notamment les risques de condensation ou de dégradation du bois.

Les thermocouples sont utilisés en complément : ils effectuent des mesures différentielles, de manière à déterminer plus finement l'impact des ponts thermiques ; ils sont situés aux jonctions entre parois, près des montants verticaux, ainsi que sur le cadre de la future fenêtre et de la porte.

Les fluxmètres permettront d'évaluer la répartition des flux entre les différentes parois et la porte.

Les conditions climatiques sont mesurées sur le site (température, humidité, vitesse et direction du vent, rayonnement solaire direct et diffus notamment), et les conditions de température et d'humidité sont mesurées dans le comble et le vide sanitaire.

### **3. BREVE DESCRIPTION DU MODELE**

Le modèle utilisé pour notre étude, HAM-Tools, se présente sous la forme d'une bibliothèque de composants permettant de modéliser un bâtiment dans son ensemble (enveloppe, zones, systèmes). Il est développé dans l'environnement Matlab-Simulink.

Le bâtiment modélisé peut être multizone (une « zone » étant définie comme un volume d'air fermé par une ou des parois) ; la bibliothèque de composants comporte plusieurs types de parois, et comporte également les éléments de base permettant à l'utilisateur de créer sa propre paroi.

Pour chaque zone, le modèle effectue le bilan thermique, hygrique et aéraulique en fonction des charges et « capacités » (thermique/hydriques) internes (occupation, ameublement), des systèmes, et des échanges avec les parois (chaleur, vapeur, air infiltré). Une zone est représentée par une température, une pression d'air et une valeur d'humidité relative (un nœud de calcul par zone).

Dans les parois, le modèle calcule les transferts d'air (par différence de pression totale), d'humidité (la vapeur étant transportée par diffusion par différence de pression partielle, et par les mouvements d'air, l'eau liquide se diffusant par gradient de pression de suction), et de chaleur (conduction et transport par la vapeur). Les propriétés des matériaux sont fonction de la température et de l'humidité.

La modélisation des parois est effectuée en différences finies ; les solveurs de Matlab résolvent le système à chaque pas de temps. On dispose ainsi des valeurs de température et d'humidité à chaque pas de temps et pour chaque nœud dans les parois et dans la zone, ainsi que des consommations d'énergie.

Une fois le bâtiment expérimental modélisé avec ces composants, le modèle sera calé et validé avec des résultats expérimentaux. Il sera ensuite utilisé pour mener une étude paramétrique concernant divers constituants de l'enveloppe.

### **4. PREMIERES MESURES**

#### *4.1. DESCRIPTION DES CONDITIONS*

Les premières mesures effectuées ont pour but de vérifier le bon fonctionnement de l'ensemble des capteurs ainsi que du système d'acquisition, et la cohérence des valeurs relevées. Ces mesures se sont déroulées en chauffant la cellule à l'aide d'un convecteur, régulé à 30°C par un thermostat, pour une température extérieure stable (temps nuageux) d'environ 20°C. Aucune ventilation ni génération de vapeur n'était en fonctionnement. La température a été maintenue durant 1,5 jours, avant de décroître librement durant 2 jours.

#### *4.2. RESULTATS*

Les mesures de température au centre de la pièce à différentes hauteurs (25cm du sol, mi-hauteur, 25cm du plafond), figure 3, permettent de constater la stratification des températures lors de

l'utilisation du chauffage (convecteur) ; les températures sont *a contrario* très homogènes dans la phase d'évolution libre.

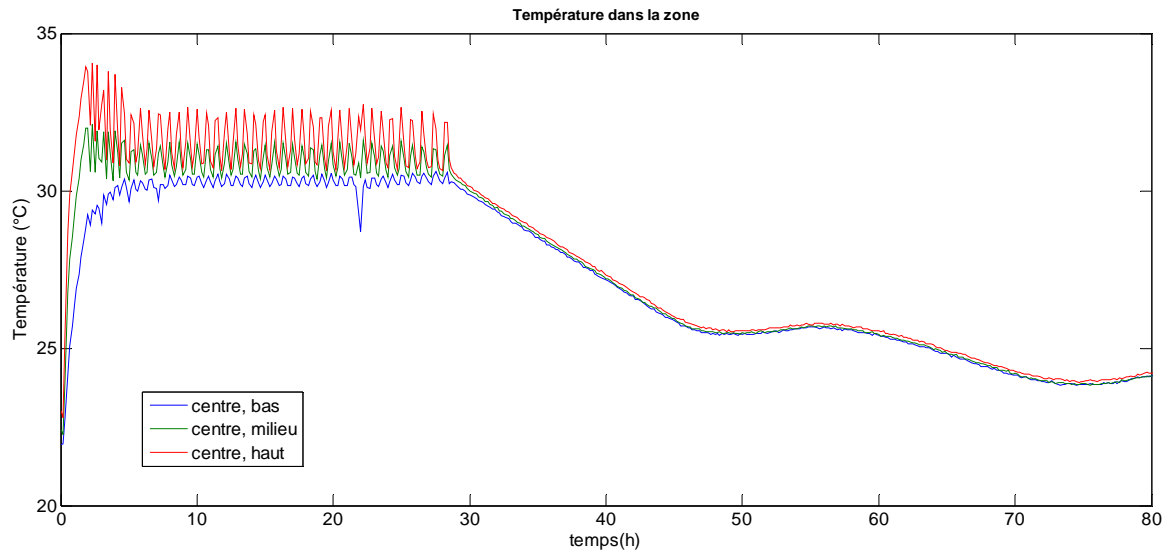


Figure 3 : évolution de la température dans la zone.

On remarque également des variations dans la température, montrant les limites du système de régulation adoptée (d'autre part la température au milieu est supérieure à la consigne, alors même que le thermostat est placé à proximité de ce capteur). Les variations sont plus marquées en haut, ce qui aura un impact sur le flux de chaleur traversant le plafond (cf. figure 4). Les brusques diminutions de température correspondent à l'ouverture de la porte, dont l'effet est plus sensible près du sol.

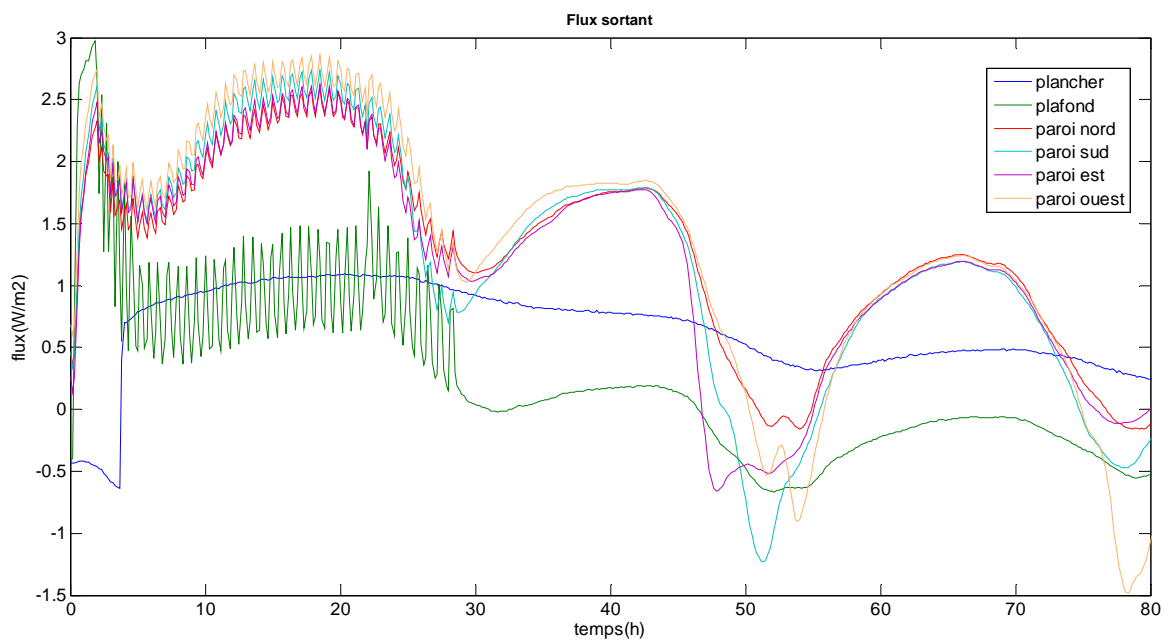


Figure 4 : évolution des flux sortants.

Le flux sortant traversant le plafond est, en régime non chauffé, plus faible qu'au niveau du plancher (voire négatif, ce qui signifie que la chaleur entre), du fait de la température mesurée dans le comble, plus importante que la température extérieure.

L'étude du pont thermique constitué par un montant dans la paroi Est montre que son effet sera important (figure 5). En effet, les températures de surface, en partie courante et au niveau du montant, montrent un écart d'environ 2°C ; étant donné le nombre élevé de ces montants, des pertes thermiques, ainsi qu'une diminution de confort (par effet de paroi froide) sont à attendre en hiver.

Le gradient transversal de température (surface intérieure moins surface extérieure) confirme cet écart. D'autre part, nous vérifions ici la fiabilité de nos mesures : l'écart mesuré directement par des thermocouples, en partie courante, est similaire à celui obtenu à partir des mesures de niveau de température effectuées à l'aide de thermohygromètres ; ceux-ci, toutefois, réagissent moins rapidement, et sont moins affectés par les variations rapides de la température intérieure.

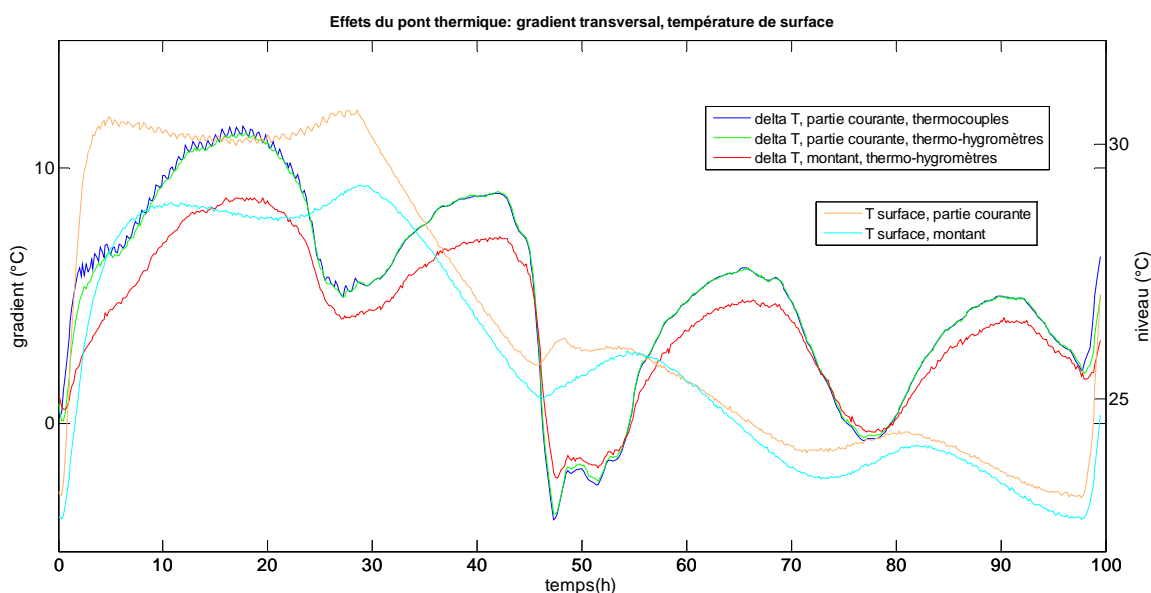


Figure 5 : gradients transversaux et températures de surface à proximité d'un montant.

Le mode constructif de la cellule induit, aux angles verticaux, un pont thermique. Le schéma ci-dessous, figure 6, montre la non continuité de l'isolant ; on remarque également qu'il n'est pas symétrique.

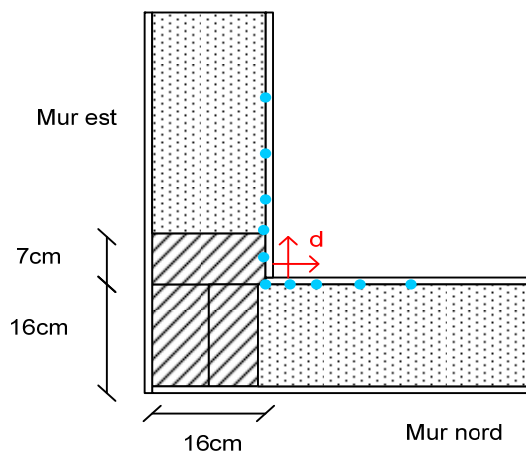


Figure 6 : construction de l'angle N-E, et positions des points de mesure.

La mesure des écarts de température par rapport au point le plus froid, dans l'angle nord-est (côté surface intérieure), met en évidence cette dissymétrie (figure 7).

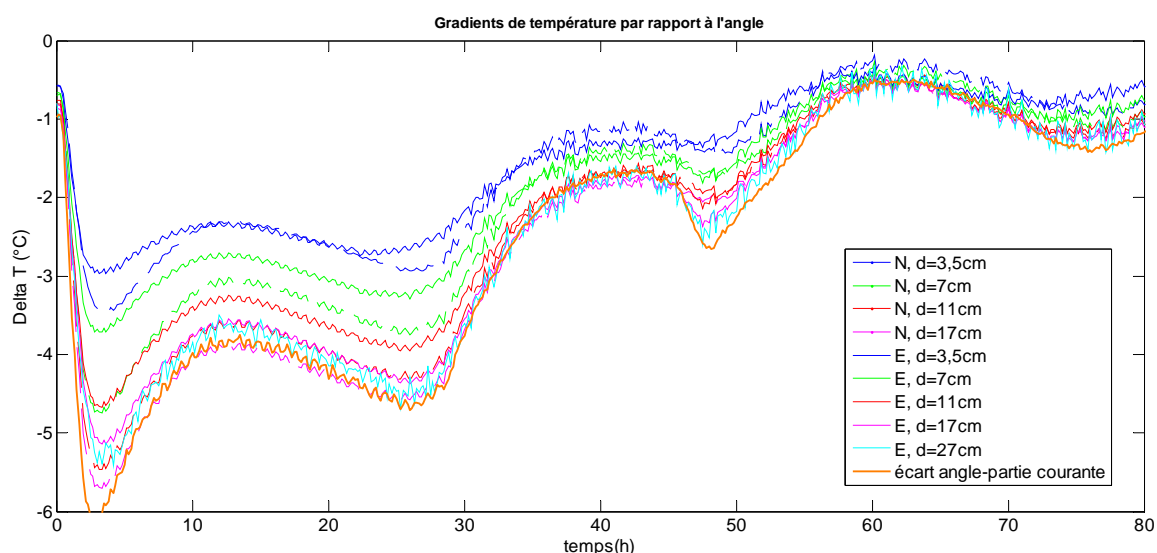


Figure 7 : gradients de température par rapport à l'angle.

Les courbes ci-dessus représentent la différence de température à une distance  $d$  du point froid (d'où des valeurs négatives), côté Nord (N, courbe en pointillés) ou Est (E, ligne pleine) de l'angle. Ces mesures sont obtenues par des thermocouples montés en différentiel. La dernière courbe est la différence calculée entre le point froid et la partie courante en paroi Est, mesurées par des thermohygromètres.

On constate que le pont thermique est notable ( $4^{\circ}\text{C}$  en régime établi), et plus élevé que celui induit par les montants simples; la dissymétrie constructive se retrouve dans le fait que le froid se propage plus loin côté Est, l'écart de température rejoignant la valeur de la paroi courante à une distance plus grande (27cm contre 17cm en paroi Nord). L'écart tend naturellement vers zéro à mesure que la température intérieure rejoint la température extérieure.

## 5. CONCLUSIONS

L'article a présenté une étude en cours des transferts de chaleur et de masse dans une maison à ossature bois, basé sur une expérimentation en grandeur réelle (cellule test au format réaliste, climat extérieur), et complété par une étude numérique. Différents composants et paramètres seront analysés de façon complémentaire par la modélisation et l'expérimentation.

La partie expérimentale est à présent en fonctionnement, les premiers résultats de mesures ont été présentés ici, donnant de premières informations sur le comportement à attendre, les constantes de temps de la cellule, ainsi que sur la fiabilité des mesures.

Le système de chauffage est opérationnel, avec une régulation peu précise ; les flux de chaleur traversant les parois horizontales, bien que réduits par une isolation renforcée, contribueront fortement aux déperditions de la cellule en période de chauffe. Parmi les ponts thermiques pressentis, ceux présentés dans cet article (montant et angle verticaux) seront également à l'origine de déperditions, et des désordres liés à l'humidité peuvent être attendus : les mesures d'humidité relative en ces points seront donc de première importance.

## 6. BIBLIOGRAPHIE

European technical approval ETA-05/0022 (valid from 12/05/2005 to 12/05/2010). *Timber frame building kits*. European Organisation for Technical Approvals

Kalagasidis, A. (2004) *HAM-Tools, An Integrated Simulation Tool for Heat, Air and Moisture Transfer Analyses in Building Physics*. PhD thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.