



HAL
open science

Capteur RFID sans puce de température et d'humidité

Florian Requena, Nicolas Barbot, Darine Kaddour, Etienne Perret

► **To cite this version:**

Florian Requena, Nicolas Barbot, Darine Kaddour, Etienne Perret. Capteur RFID sans puce de température et d'humidité. XXIIèmes Journées Nationales Microondes 2022, Jun 2022, Limoges, France. hal-04044421

HAL Id: hal-04044421

<https://hal.science/hal-04044421>

Submitted on 24 Mar 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Capteur RFID sans puce de température et d'humidité

Florian Requena, Nicolas Barbot, Darine Kaddour, Etienne Perret

Université Grenoble Alpes, Grenoble INP, LCIS, F-26000 Valence, France.
florian.requena@lcis.grenoble-inp.fr

Résumé — Cet article présente un capteur RFID sans puce pour la mesure de température et d'humidité. Un processus d'interrogation RFID sans puce classique est utilisé pour extraire l'identifiant du tag ainsi que les deux paramètres physiques. Un modèle décrivant l'évolution de la fréquence de résonance d'un résonateur en fonction de la température et de l'humidité est introduit. Ce modèle permet d'extraire les 2 quantités indépendamment uniquement à partir des fréquences de résonance de deux résonateurs. Des mesures dans un environnement réel ont été effectuées pour valider l'application capteur.

1. Introduction

La RFID est une technologie d'identification semblable aux codes à barres mais utilisant une approche radar [1]. De nombreuses familles de RFID ont vu le jour pour répondre à de nouvelles problématiques. La RFID sans puce en est un exemple où l'objectif est de réduire considérablement le prix d'un tag pour concurrencer le code à barres en supprimant les parties électroniques. A défaut de pouvoir égaler le prix du code à barres, la possibilité d'ajouter des fonctionnalités de capteurs directement dans le tag RFID est exploitée. En effet, en envoyant une onde électromagnétique vers une cible radar spécifique et en mesurant son champ rétrodiffusé, plusieurs grandeurs physiques peuvent être détectées (voir Fig. 1). On retrouve ainsi par exemple des capteurs d'humidité ou de température [2, 3]. Dans ces travaux, une variation d'humidité produit une variation de la permittivité entraînant un décalage de la fréquence de résonance du résonateur. Ce décalage de fréquence est utilisé pour calculer l'humidité ambiante autour du résonateur. Cependant, le lien entre la fréquence de résonance et la température fait intervenir deux phénomènes physiques. Le premier mécanisme étudié est la dilatation thermique du matériau. Le second mécanisme est une variation de permittivité, similaire au phénomène observé pour l'humidité. Une limitation importante de ces travaux est que ces capteurs ne peuvent estimer qu'un seul paramètre physique alors que l'autre doit rester constant. Cependant, dans une application réelle, ces deux grandeurs vont toutes les deux impacter la fréquence de résonance qui est la seule donnée extraite du capteur. Ainsi, lorsque l'humidité est étudiée par exemple, une variation de température de l'environnement peut être interprétée à tort comme une variation d'humidité, ce qui introduit des erreurs dans la mesure. Dans cet article, une méthode per-

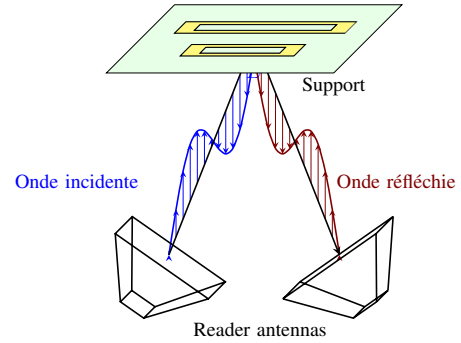


FIGURE 1. Principe de la mesure de la fréquence de résonance utilisée pour mesurer la température et l'humidité en technologie RFID sans puce.

mettant d'isoler et mesurer ces deux paramètres en même temps et de manière fiable est présentée.

2. Théorie

La fréquence de résonance f d'un résonateur en fonction de la température T et de l'humidité RH peut s'écrire [4] :

$$f(T, RH) = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon_{eff}}L_0} \left(1 - (\alpha_c + \frac{\alpha_p}{2})T - \frac{1}{2}[a' + \gamma RH] \right) \quad (1)$$

où L_0 est la longueur effective du résonateur, ε_{eff} la permittivité effective du résonateur, α_c le coefficient de dilatation thermique effectif, α_p et γ les coefficients de variation sur la permittivité liés à la température et de l'humidité respectivement. a' est une constante qui permet de linéariser les variations des diélectriques non linéaires [4]. Si le diélectrique est linéaire, alors $a' = 0$. Ces derniers coefficients sont connus pour des matériaux communs ou peuvent être obtenus par mesure [4]. Ainsi en mesurant les décalages fréquentiels Δf de deux résonateurs de longueur différente, noté $n = 1$ et $n = 2$, on a :

$$\begin{cases} T = T_{ini} - \frac{1}{F_1 F_2 (\alpha_1 - \alpha_2)} (F_2 \Delta f_1 - F_1 \Delta f_2) & (2a) \\ RH = RH_{ini} - \frac{2}{\gamma F_1 F_2 (\alpha_1 - \alpha_2)} [F_1 \alpha_1 \Delta f_2 - F_2 \alpha_2 \Delta f_1] & (2b) \end{cases}$$

où F_n est défini par :

$$F_n = \frac{f_{ini}^n}{(1 - \alpha_n T_{ini} - \frac{1}{2}[a' + \gamma RH_{ini}])} \quad (3)$$

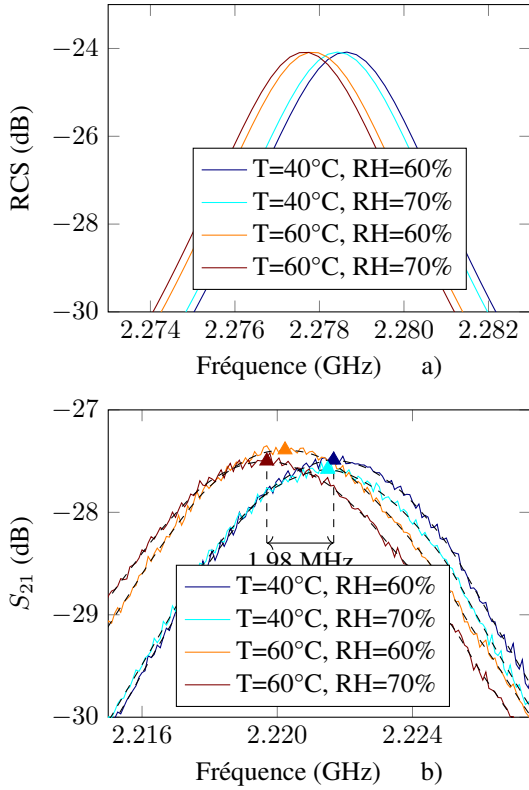


FIGURE 2. a) Réponse RCS simulée d'un résonateur pour différentes valeurs de température et d'humidité. b) Mesure lissée (ligne pointillée) et données brutes (ligne continue) pour la réponse S_{21} à différentes valeurs de température et d'humidité.

En effectuant une première mesure initiale de la fréquence de résonance f_{ini}^n pour les deux résonateurs à une température T_{ini} et une humidité RH_{ini} connues, on peut calculer F_n en utilisant (3). Pour extraire T et RH au temps $t > t_{ini}$, on utilise la mesure des fréquences de résonance des deux résonateurs f_1 et f_2 avec (2a) et (2b). Par la suite, un résonateur de type boucle (voir la Fig. 1) sera utilisé. La Fig. 2a présente une simulation du paramètre RCS du résonateur boucle avec sa fréquence de résonance qui varie en fonction de T et RH . La Fig. 2b présente un exemple de mesure à titre d'exemple.

3. Mesures et analyses

Des mesures ont été effectuées dans un environnement type "chambre climatique" et en conditions réelles pour valider l'approche sur les résonateurs boucle sur un substrat Rogers RO4003C. Le banc de mesure est présenté sur la Fig. 3. Une configuration bistatique est utilisée. Un ordinateur est connecté au VNA et à un capteur électronique de température et d'humidité. Chaque minute, l'ordinateur déclenche des mesures sur le VNA et le capteur. La température, l'humidité et les paramètres S sont enregistrés sur l'ordinateur. Les paramètres S mesurés sont lissés pour éliminer tout bruit de mesure résiduel qui pourrait avoir un impact sur la recherche de la fréquence de résonance. La température et l'humidité enregistrées pendant la mesure

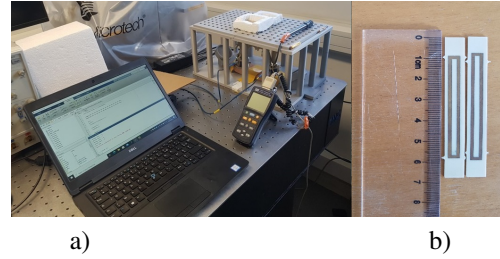


FIGURE 3. a) Photo du banc de mesure utilisé et b) des deux résonateurs utilisés (cuivre sur Rogers RO4003C).

sont indiquées en orange sur la Fig. 4. La mesure a duré 2200 minutes. Les équations (2a) et (2b) sont appliquées et la température et l'humidité estimées sont représentées sur la Fig. 4 en noir. Nous pouvons voir que les deux quantités sont en bon accord avec une erreur inférieure à 1°C et 5%RH sur les quantités estimées. Sur la Fig. 4, la température estimée traditionnellement à l'aide d'un capteur de température RFID sans puce est également représentée en marron. Comme indiqué dans l'introduction, si l'effet de l'humidité n'est pas pris en compte, une erreur plus élevée de 2°C sur la température extraite peut être observée quand l'humidité a varié depuis sa valeur initiale RH_{ini} . Cet exemple montre comment il est possible avec (2a) et (2b) de réduire les erreurs dans l'estimation de la température tout en permettant de détecter plus de grandeurs physiques (ici l'humidité). Les erreurs et incertitudes ont été étudiées dans [4] et les erreurs sont présentées sur la Fig. 5. Il est à noter que (2a) ne dépend pas de γ et donc l'erreur sur la température estimée n'augmente que lorsque T augmente. En revanche, (2b) dépend à la fois de α et de γ et l'erreur augmente donc lorsque T ou RH varient.

4. Caractérisation de matériaux

Pour la plupart des matériaux, la dépendance thermique est connue (dilatation pour les métaux et changement de permittivité pour le diélectrique) mais les propriétés pour l'humidité sont rarement étudiées. L'approche présentée permet de réaliser cette caractérisation en température et humidité. En effet, en normalisant la fréquence de résonance f dans (1) par (3), on obtient :

$$\frac{f}{f_{ini}} \simeq 1 - \frac{a'}{2} - \alpha T - \frac{\gamma}{2} RH \quad (4)$$

avec f_{ini} la première fréquence de résonance mesurée au temps t_0 . De (4) il est possible d'extraire les coefficients a' , α et γ par régression linéaire en mesurant les fréquences de résonance pour un ensemble de valeurs différentes de températures et d'humidités connues. Cette caractérisation a été réalisée pour un diélectrique Rogers RO4003C (voir la Fig. 6) et les coefficients extraits sont présentés dans le Tableau. 1. On remarque que ces estimations sont répétables (en environnement contrôlé mais aussi en environnement réel) mais également que le coefficient α qui peut lui est connu [5] est en accord avec sa valeur estimée.

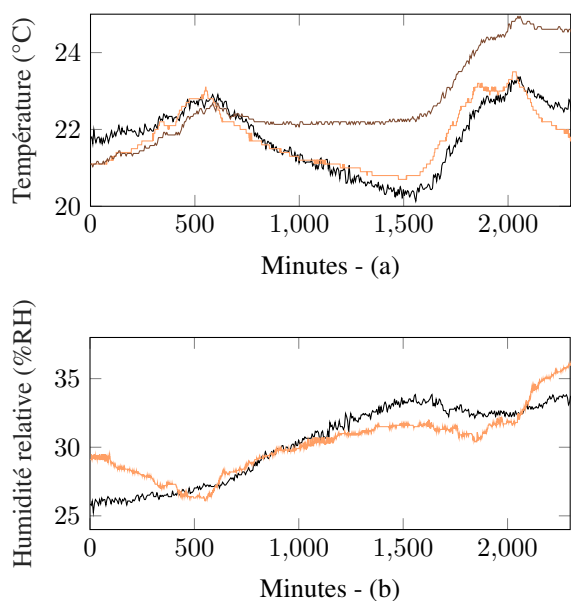


FIGURE 4. En noir, a) la température et b) l'humidité estimée. En orange, a) la température et b) l'humidité mesurée par un capteur électronique. En marron, la température estimée en ne considérant pas les variations d'humidité. Les mesures ont été faites en environnement réel (voir Fig. 3).

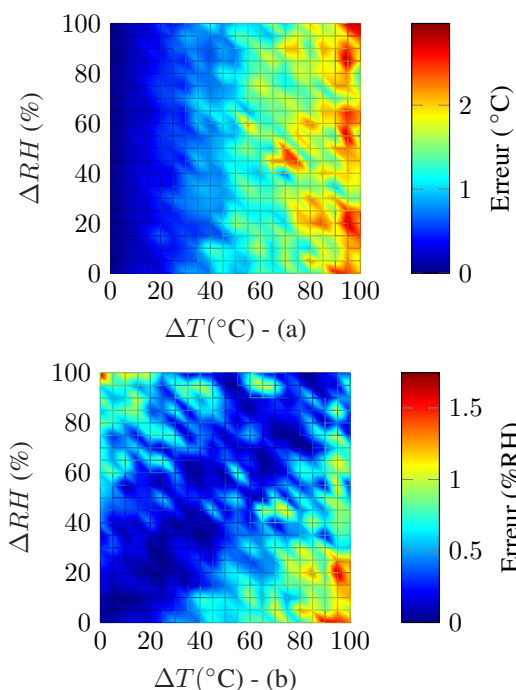


FIGURE 5. a) Erreurs sur la température et b) l'humidité estimées en fonction de variations de température et d'humidité avec une incertitude de 10% sur α, γ en simulation Monte-Carlo [4].

5. Limitations

Contrairement à la dépendance de la permittivité en température qui peut souvent être considérée comme li-

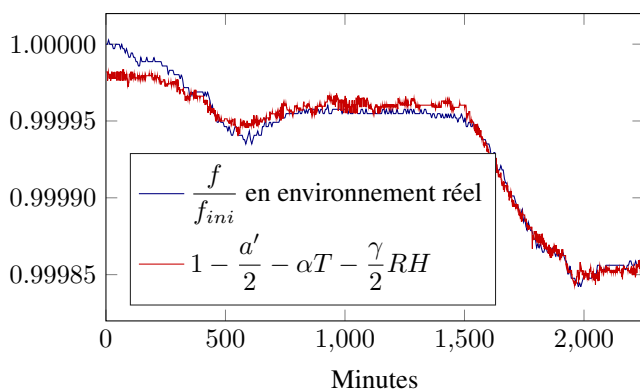


FIGURE 6. Fréquence de résonance normalisée mesurée dans un environnement réel en bleu et (4) utilisant des paramètres estimés en rouge avec $\alpha = 4.131 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$, $\gamma = 2.836 \times 10^{-5} \text{RH}^{-1}$ et $\alpha' = 0.004$ (voir Tableau 1). Les variations de température et d'humidité de cette mesure sont présentées dans la Fig. 4.

TABLEAU 1. Coefficients estimés de (4) pour différentes mesures en utilisant le même résonateur.

	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Environnement réel
α	3.852×10^{-5}	4.624×10^{-5}	4.165×10^{-5}	4.131×10^{-5}
γ	2.658×10^{-5}	3.108×10^{-5}	2.926×10^{-5}	2.836×10^{-5}
α'	0.004	0.006	0.006	0.004

néaire pour les matériaux classiques utilisés pour la fabrication des résonateurs, la linéarisation de la dépendance à l'humidité dans (1) n'est valable que pour une plage limitée d'humidité autour d'une valeur spécifique. Pour augmenter cette plage de définition, il est possible d'utiliser un modèle avec plus de paramètres sur un ajustement polynomial d'ordre 2 ou 3 par exemple.

Par ailleurs, certains matériaux tels que les diélectriques Kapton, ont été caractérisés à la fois pour des variations d'humidité et de température [6] et présente une linéarité en humidité sur toute la plage 0%-100%RH. Des mesures avec différentes valeurs d'humidité ont été effectuées afin de déterminer cette limitation pour le diélectrique utilisé dans cet article (Rogers RO4003C). Un exemple de fréquence de résonance normalisée utilisée pour extraire le coefficient γ est tracé dans la Fig. 7. Les coefficients γ estimés pour différentes plages d'humidité sont présentés dans le Tableau 2. La plage 25%RH-40%RH était celle considérée lors de la mesure dans un environnement réel. La dernière mesure (mesure n°3) a été effectuée de 60%RH à 95%RH et divisée en sous-domaines. Entre ces mesures, le banc d'essai a été entièrement démonté et remonté. Nous pouvons constater que γ est assez constant pour des valeurs d'humidité inférieures à 80 %RH. Pour des valeurs supérieures, γ augmente significativement avec l'humidité et le modèle linéaire ne peut pas être utilisé pour extraire l'humidité relative sur la plage d'humidité totale considérée ici. A

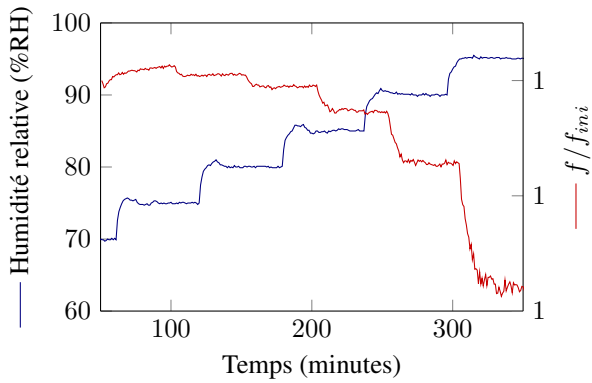


FIGURE 7. a) Humidité mesurée avec un capteur électronique dans l'enceinte climatique avec une température constante de 40°C. b) Fréquence de résonance normalisée f/f_{ini} pour les différentes valeurs d'humidité.

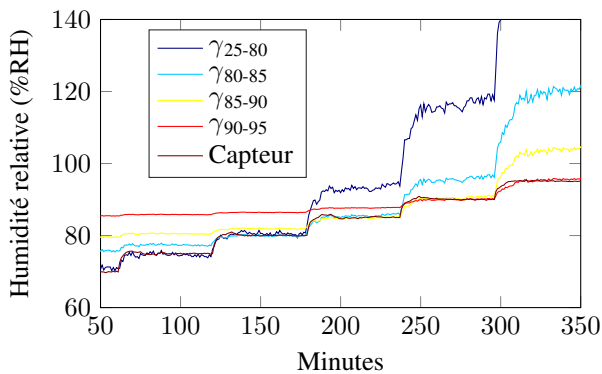


FIGURE 8. Humidité extraite en utilisant différentes valeurs γ comparée à l'humidité réelle mesurée avec un capteur de référence pour une température constante de 40°C.

85 %RH, la valeur de $\gamma = 7.8 \times 10^{-5} \%RH^{-1}$ ne décrit pas bien la dépendance à l'humidité du résonateur et peut donc être considérée comme une limitation de (1) pour des faibles humidités. Dans la Fig. 8 sont tracées les valeurs d'humidité extraites en utilisant une valeur de $\gamma_{25-80} = 2.8 \times 10^{-5} \%RH^{-1}$ qui correspond à la plage d'extraction de 25-80 % d'humidité relative et une valeur de $\gamma_{90-95} = 33,5 \times 10^{-5} \%RH^{-1}$ qui correspond à la plage d'extraction de 90-95 %RH. Nous pouvons voir que l'utilisation d'une constante γ_{25-80} pour l'approximation linéaire permet une bonne extraction jusqu'à 80 %RH mais ne décrit pas bien une gamme d'humidité plus élevée. En même temps, γ_{90-95} ne permet d'obtenir la valeur correcte que dans la plage 90-95 %RH avec une erreur de 10 %RH pour une humidité réelle de 70 %RH.

6. Conclusion

Cet article présente un capteur de température et d'humidité pour les applications RFID sans puce. Ce travail montre que deux grandeurs physiques telles que la température et l'humidité peuvent être extraites indépen-

TABEAU 2. Estimation de γ pour différentes valeurs d'humidité.

	Plage d'humidité	γ estimé
Mesure n°1	25-40 %	$2.836 \times 10^{-5} \%RH^{-1}$
Mesure n°2	60-70 %	$2.926 \times 10^{-5} \%RH^{-1}$
Mesure n°3	60-70 %	$2.934 \times 10^{-5} \%RH^{-1}$
Mesure n°3	70-75 %	$2.876 \times 10^{-5} \%RH^{-1}$
Mesure n°3	75-80 %	$2.808 \times 10^{-5} \%RH^{-1}$
Mesure n°3	80-85 %	$7.524 \times 10^{-5} \%RH^{-1}$
Mesure n°3	85-90 %	$13.754 \times 10^{-5} \%RH^{-1}$
Mesure n°3	90-95 %	$33.5 \times 10^{-5} \%RH^{-1}$

damment, et simultanément. L'approche est validée avec des résonateurs sur un substrat Rogers RO4003C fonctionnelle jusqu'à 80%RH avec des erreurs de 1°C et 5%RH en environnement réel et 1°C et 2%RH dans une chambre climatique anéchoïque. Des applications potentielles peuvent être trouvées dans les domaines de l'alimentaire et la santé.

Remerciements

Ce travail a été soutenu par le Conseil européen de la recherche (ERC) dans le cadre du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne (ScattererID) sous la subvention N 772539.

Références

- [1] J. Landt, "The history of RFID," *IEEE Potentials*, vol. 24, no. 4, pp. 8–11, 2005.
- [2] M. Borgese *et al.*, "An inkjet printed chipless RFID sensor for wireless humidity monitoring," *IEEE Sensors J.*, vol. 17, no. 15, pp. 4699–4707, 2017.
- [3] T. Noor *et al.*, "High-density chipless RFID tag for temperature sensing," *Electronics Letters*, vol. 52, no. 8, pp. 620–622, 2016.
- [4] F. Requena *et al.*, "Chipless RFID temperature and humidity sensing," in *2021 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*. IEEE, 2021, pp. 545–548.
- [5] F. Requena *et al.*, "Thermal modeling of resonant scatterers and reflectometry approach for remote temperature sensing," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 69, no. 11, pp. 4720–4734, 2021.
- [6] dupont.com. (2021). [accessed 01 mar. 2021]. [Online]. Available : <https://www.dupont.com/content/dam/dupont/amer/us/en/products/ei-transformation/documents/EI-10142-Kapton-Summary-of-Properties.pdf>