



Objectifs :

→ **Modéliser** le comportement du capteur de température

Préalable : l'activité 2d doit être faite pour comprendre le contexte de cette activité.

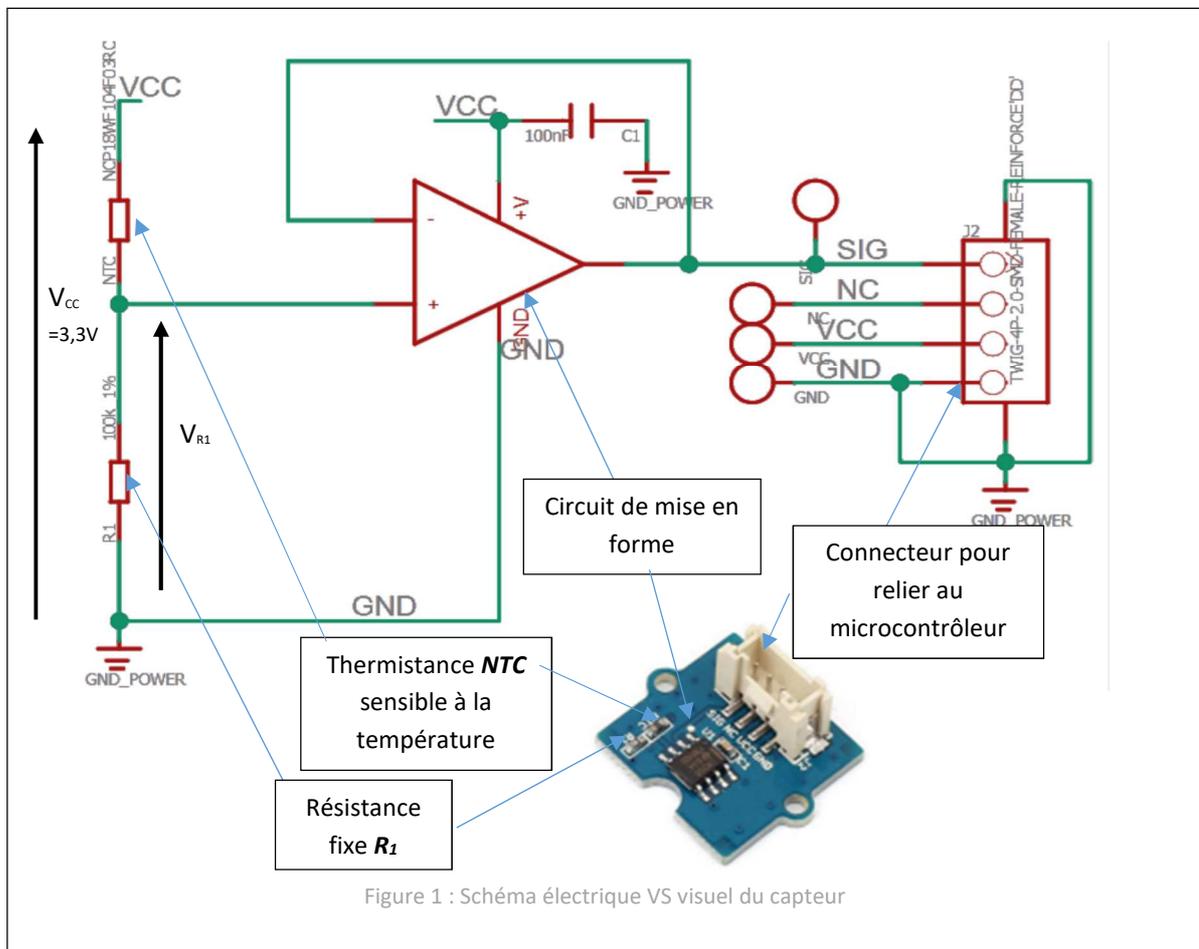
Dans la partie E de l'activité 2d, vous avez formulé l'hypothèse forte que **le modèle du capteur est « linéaire »**. C'est-à-dire que la courbe $T_{réelle} = f(V_{OUT})$ est une droite.

On rappelle que $T_{réelle}$ correspond à la température mesurée par le capteur en °C et que V_{OUT} correspond à la tension délivrée par le capteur en volt.

Nous allons tenter de **vérifier si cette hypothèse est acceptable**.

STRUCTURE DU CAPTEUR

La structure du capteur de température GROVE 101020015 et une photo de ce dernier sont fournis dans la figure 1 (pour voir les couleurs ouvrir le fichier fourni sur l'espace documentaire internet).



Le plan de câblage du capteur (figure 1) montre trois principaux circuits :

- un pont diviseur de tension formé par le duo de résistances R_1 et NTC,
- un circuit de mise en forme,
- un connecteur.

i **La résistance NTC** est particulière car sa valeur (en Ω) est variable selon la température à laquelle elle se trouve ; un tel composant s'appelle « thermistance ». Les figures 2a et 2b montrent que sa résistance diminue quand la température augmente et inversement.

i **Le capteur est actif** ; cela signifie qu'il doit être alimenté pour fonctionner. Sa tension d'alimentation est fournie par le biais du connecteur entre les bornes VCC et GND. On utilisera une carte avec microcontrôleur ESP32 pour l'alimenter ; la tension vaudra alors $V_{CC} = 3,3$ V.

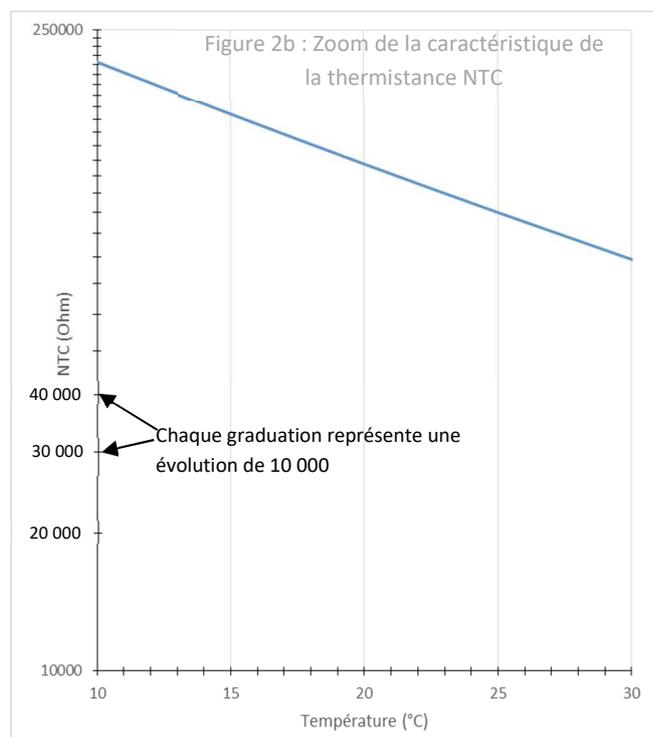
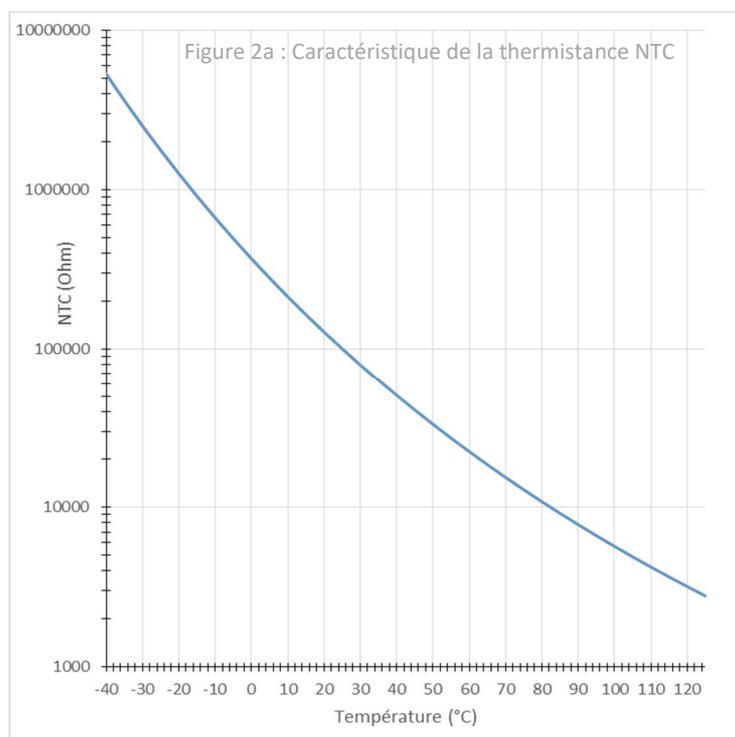
i **La tension V_{OUT}** envoyée par le capteur au microcontrôleur se fait par le biais du connecteur entre les bornes SIG et GND. C'est, en V, l'image de la température.

i **Le circuit de mise en forme** fait en sorte que la tension V_{OUT} soit identique à la tension V_{R1} délivrée par le pont diviseur de tension : $V_{OUT} = V_{R1}$. Cette égalité permet de ne s'intéresser qu'au comportement du pont diviseur de tension.

→ On cherche donc à déterminer la relation entre la tension V_{R1} du pont et la température $T_{réelle}$.

Spécifications de la thermistance NTC (figures 2a et 2b) :

- Résistance NTC à $\theta_0 = 25^\circ\text{C}$: $NTC_{25} = 100\text{k}\Omega$
- Constante de température de la NTC : $B = 4250$ à 4299K (on prendra 4250)



Spécifications de la résistance fixe R_1 :

- Résistance : $R_1 = 100\text{k}\Omega$
- Tolérance : 1%

PARTIE A

Comparaison entre le modèle mathématique et la réponse du capteur réel pour 1 point de mesure.

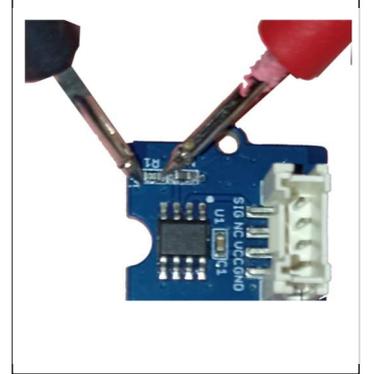
Analyse de la résistance R₁ : comparaison entre la donnée constructeur et la valeur réelle :

Q1 - A partir des informations fournies par le constructeur du capteur (page 2), **rappeler** la valeur ohmique de la résistance R₁.

R₁théorique = _____.

Q2 - A l'aide d'un multimètre, **capteur débranché de toute source**, mesurer la valeur ohmique de R₁ en utilisant 2 pointes de touches reliées chacune à une extrémité de la résistance (cf. figure 3)

R₁mesurée = _____.



Il est écrit sur le schéma que la tolérance de la valeur de la résistance R₁ est de 1%.

Q3 - **Calculer** l'écart relatif ΔR₁% entre la valeur théorique et la valeur mesurée.

ΔR₁% = _____.

Q4 - **Dire** si l'écart relatif correspond à la tolérance annoncée.

_____.

Analyse du comportement de la thermistance :

La thermistance est la partie active du capteur (sensible à la température). Nous nous intéressons à l'évolution de cette dernière en fonction de la température.

Q5 - **Préciser**, dans le tableau ci-dessous, quelles sont les grandeurs représentées sur les axes des graphiques (figures 2a et 2b) et donner leurs unités.

	Grandeur	Unité	Type d'échelle
Abscisse	_____.	_____.	<input type="checkbox"/> Linéaire <input type="checkbox"/> Logarithmique
Ordonnée	_____.	_____.	<input type="checkbox"/> Linéaire <input type="checkbox"/> Logarithmique

Q6 - **Préciser**, dans la dernière colonne du tableau ci-dessus, le type d'échelle utilisé pour chaque axe.



Q7 - **Mesurer** la température de votre capteur θ_c (°C) à l'aide du thermomètre fourni par votre enseignant.

θ_c = _____.

Q8 - **Déterminer** à l'aide du graphique la valeur de la thermistance NTC pour cette température.

NTC_{graphique} = _____.

Q9 - A l'aide d'un multimètre, **capteur débranché de toute source**, mesurer la valeur ohmique de la thermistance NTC (cf. figure 4)

$NTC_{\text{mesurée}} =$ _____ .

Compte tenu de la précision de tracé sur la courbe, on considèrera que la mesure est en adéquation avec la donnée constructeur si la mesure ne s'écarte pas plus de 5% de la donnée constructeur.

Q10 - **Calculer** (en %) l'écart relatif entre de $NTC_{\text{mesurée}}$ par rapport à $NTC_{\text{graphique}}$.

$\Delta NTC\% =$ _____ .

Q11 - **Dire** si la mesure est en adéquation avec la courbe constructeur.

_____ .

➤ Poser pendant quelques instants un doigt sur la thermistance NTC de façon à la chauffer avec votre température corporelle.

Q12 - **Mesurer** de nouveau la valeur ohmique de la thermistance NTC.

$NTC_{\text{mesurée2}} =$ _____ .

Q13 - **Préciser** si la valeur ohmique a eu une évolution logique au regard du modèle graphique (figures 2a et 2b).

_____ .

_____ .

Comparaison de la réponse du capteur réel et du modèle mathématique pour un point de mesure :

Q14 - **Rappeler** la formule qui lie la tension V_{R1} à V_{CC} , NTC et R_1 pour ce pont diviseur de tension.

$V_{R1} =$ _____ .

Q15 - **Calculer** en V, à partir des valeurs de résistances mesurées ($R_{1\text{mesurée}}$ et $NTC_{\text{mesurée}}$) la tension V_{OUT} délivrée par votre capteur **pour la température ambiante**.

$V_{R1} =$ _____ .

➤ **Relier le capteur** au microcontrôleur.

➤ **Alimenter** le microcontrôleur à l'aide du câble USB et du PC.

☞ *Aucun programme n'est nécessaire ; on utilise la carte juste pour alimenter le capteur.*

Q16 - **Mesurer** à l'aide d'un multimètre la tension V_{OUT} délivrée par le capteur pour la température ambiante mesurée en Q7 (voir figure 5).

$V_{R1} =$ _____ .

Q17 - **Comparer**, sans faire de calcul, la mesure de la tension de sortie du capteur à la valeur théorique calculée et **préciser** si le calcul théorique est fiable pour ce point de mesure.

_____ .

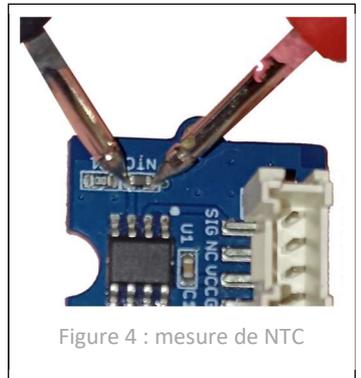


Figure 4 : mesure de NTC

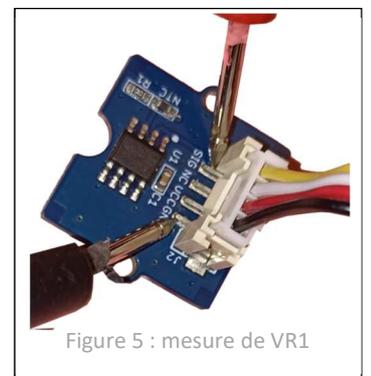


Figure 5 : mesure de VR1

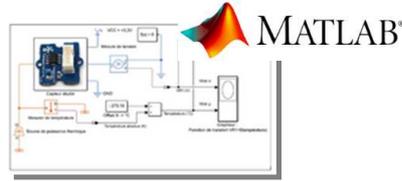
PARTIE B

Simulation de la réponse du capteur sous Matlab.

Le capteur a été modélisé sous *Matlab* en vue d'étudier son comportement multiphysique, les grandeurs mises en jeu étant la température T et tension de sortie V_{out} .



Capteur de température
GROVE 101020015



Simulation multiphysique du capteur

On considère que le modèle théorique proposé par Matlab est fiable pour toutes les valeurs de température.

➤ **Récupérer** par copier/coller le dossier contenant les documents utiles.

📁 Dossier source : (où sont les fichiers à copier)

Serveur >> Votre classe >> Documents en consultation >> SI >> Séquence 05 >> Activité 2

📁 Dossier de destination : (où coller les fichiers copiés)

Serveur >> Mes documents >>où bon vous semble..... >> Activité 2

➤ **Démarrer** le logiciel Matlab  en cliquant sur l'icône sur le bureau.

Patience. Cela peut être long à l'ouverture.

➤ Dans le champ de navigation (situé au-dessus de l'onglet *Current Folder* de la fenêtre principale de Matlab), **naviguer** pour retrouver le dossier *modele_matlab* que vous venez de coller.

➤ Dans l'onglet *Current folder* de la fenêtre principale de Matlab, **faire un clic droit** et choisir *Add to Path>Selected Folder and Subfolder*



Le dossier de travail n'est plus grisé.

➤ **Ouvrir** le dossier par un double clic.

Le dossier contient les informations suivantes :



➤ **Double cliquer** sur le fichier *capteur_temperature_matlab.slx* pour ouvrir la fenêtre de simulation.

Patience Simulink peut être long à ouvrir.

Le modèle Simulink global s'ouvre :

Il contient, notamment, une source de puissance thermique qui chauffe le capteur étudié, un composant pour mesurer la température du capteur ($T_{simulé}$), un voltmètre pour mesurer la tension de sortie du capteur (V_{R1}), un grapheur pour tracer la réponse du capteur ($T_{simulé} = f(V_{R1})$), un scope pour exporter les résultats de simulation vers Excel.

➤ **Double-cliquer** sur *capteur étudié* pour voir la constitution de son modèle Matlab.

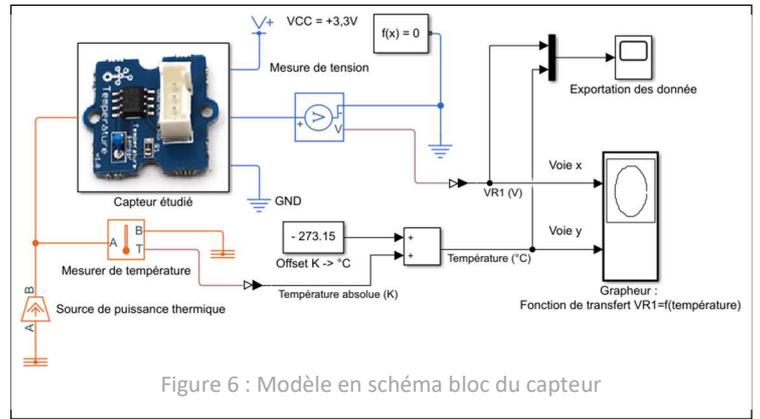


Figure 6 : Modèle en schéma bloc du capteur

Q18 - Comparer la structure proposée dans le modèle et celle donnée par le constructeur du capteur (figure 1) et cocher la réponse qui vous paraît la bonne :

- La structure du modèle Matlab correspond à peu près au schéma donné par le constructeur.
- La structure du modèle Matlab n'a rien à voir avec le schéma donné par le constructeur.

➤ **Double-cliquer** sur la thermistance NTC et **observer** que les paramètres électriques correspondent à ceux donnés par le constructeur dans la deuxième page du sujet.

➤ **Fermer** la page de paramètres.

➤ **Double-cliquer** sur la résistance R_1 et observer que le paramètre correspond à celui donné par le constructeur dans la deuxième page du sujet.

➤ **Revenir** au modèle global.

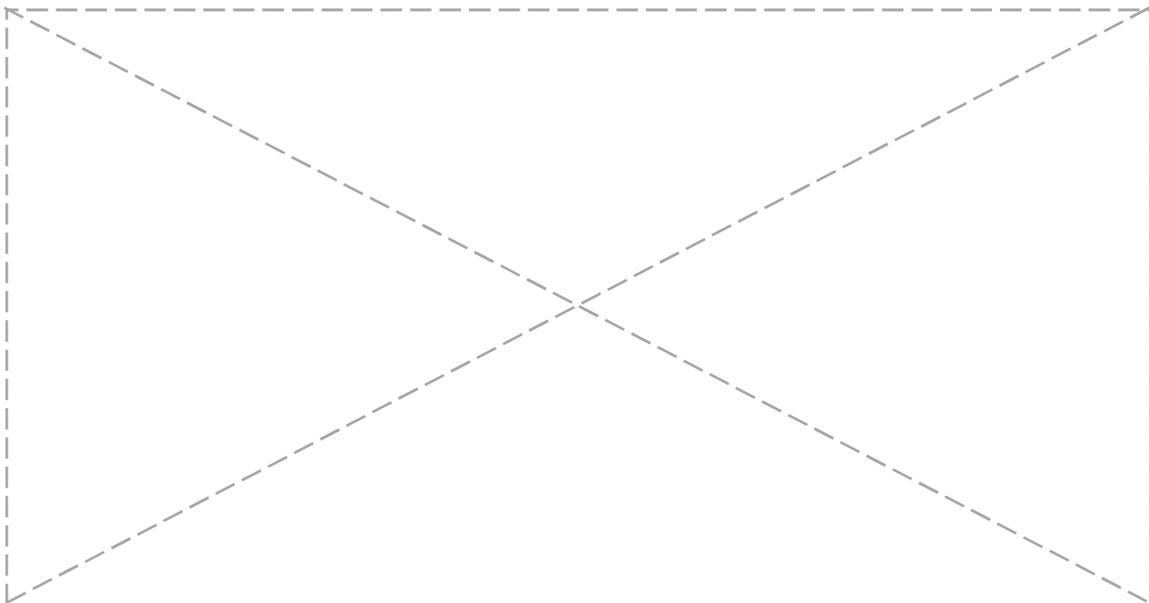
Q19 - Préciser les 2 grandeurs entrantes dans le Grapheur (Fonction de transfert $V_{R1}=f(\text{température})$).

Voie x (celle des abscisses) : _____ .

Voie y (celle des ordonnées) : _____ .

➤ **Lancer** la simulation du modèle.

➤ **Imprimer** et **coller** dans la zone ci-dessous le résultat du grapheur ($T_{simulé} = f(V_{R1})$) qui s'ouvre automatiquement suite à la simulation (s'il n'est pas déjà ouvert).



Q20 - Préciser si la réponse du capteur sur toute la plage de température du capteur est :

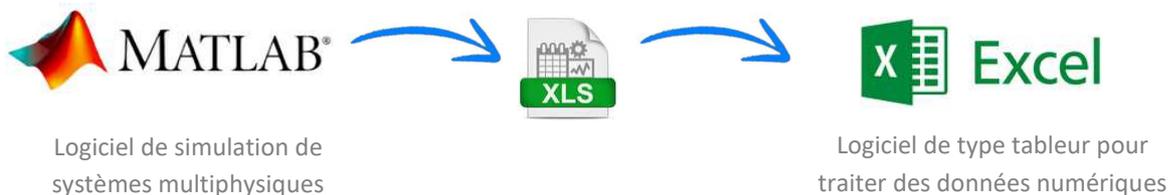
Affine (on dira linéaire en SI)

Non affine.

PARTIE C

Vérification de l'hypothèse de linéarité du capteur sur la plage de température d'utilisation dans un habitat (+5°C ; + 40°C)

Les résultats Matlab vont être traités dans un tableur pour faire la vérification demandée.



Suivre **scrupuleusement** les procédures d'export et d'import ci-dessous :

Procédure d'export



➤ **Revenir** sur la fenêtre principale de Matlab (pas la fenêtre Simulink).

➤ **Saisir** l'instruction « `xlswrite('donnees_matlab_capteur',out.data)` » dans la zone *Command Window*, au prompt `fx>>`.

☞ *Attention à bien respecter la casse (majuscules / minuscules).*

```
Command Window  
fx >> xlswrite('donnees_matlab_capteur',out.data)
```

➤ **valider** (appuyer sur la touche « ENTREE »).

☞ *Un fichier nommé « données_matlab_capteur.xls » apparaît dans le dossier de travail.*



Un fichier nommé « données_matlab_capteur.xls » apparaît dans le dossier de travail.

Procédure d'import



- **Lancer** le logiciel Excel.
- **Ouvrir** depuis Excel le fichier « *analyse_capteur.xlsx* ».
- **Activer** les macros en cliquant sur *Activer le contenu*.
- **Exécuter** la séquence : « FICHIER -> Enregistrer sous -> Parcourir -> Enregistrer
☞ *Accepter le remplacement de fichier.*
- **Faire** « *CTRL + i* » au clavier.
☞ *Cette action automatise l'importation des données issues de Matlab.*



Normalement, les données issues de la simulation Matlab ont été importées dans Excel et des courbes sont apparues dans les graphiques.

➤ **S'assurer** que la courbe Excel est identique à celle de la simulation sous Matlab (celle collée en page 6 du polycopié).

☞ *Appeler le professeur en cas de soucis.*

Courbe de tendance à partir de l'ensemble des points du graphique (soit de -40°C à +125°C)

➤ **Suivre** la procédure donnée dans le fichier EXCEL à droite des courbes pour obtenir une courbe de tendance sur toute la plage de température du capteur. Pour cela travailler sur **un des points bleus**. Faire cela pour les 2 graphiques.



Normalement, la courbe de tendance apparaît avec son équation et le coefficient de corrélation R^2 . Plus ce coefficient est proche de 1 plus la courbe de tendance est proche des points du graphique.

➤ **Organiser** le graphique en modifiant la couleur de la droite de tendance et éventuellement celle du texte (en bleu).

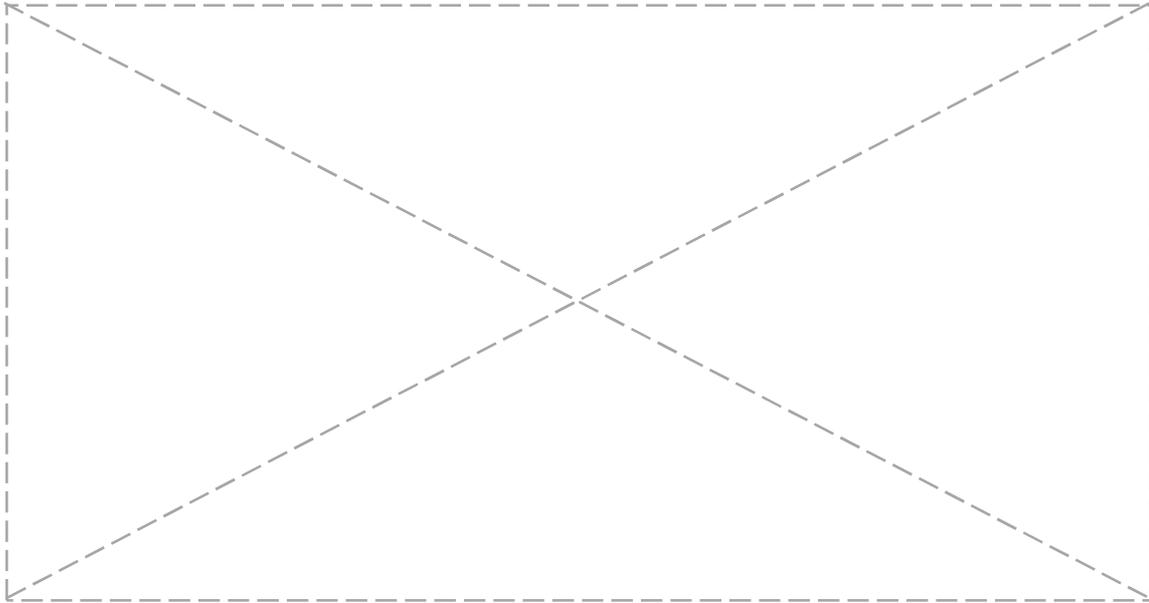
Q21 - Préciser si le modèle linéaire est fiable (ne s'éloigne pas trop de la simulation Matlab/Simulink).

Courbe de tendance à partir des points qui correspondent à la température d'un habitat (soit de 5°C à +40°C)

👉 **Créer** une nouvelle courbe de tendance calculée sur la base des points compris entre 5 et 40°C. Pour cela travailler sur un des points orange. Faire cela pour les 2 graphiques.

👉 **Organiser** le graphique en modifiant la couleur de la droite de tendance et éventuellement celle du texte (en orange).

👉 **Imprimer** et **coller** dans la zone ci-dessous les courbes Excel.



Q22 - Préciser si le nouveau modèle linéaire est fiable (ne s'éloigne pas trop de la simulation Matlab/Simulink).

Q23 - Préciser si la réponse du capteur sur la plage de température restreinte est :

Linéaire

Non linéaire.

Q24 - Relever l'équation de la réponse linéarisée du capteur sur la plage restreinte.

$T =$ _____

Q25 - Conclure sur l'acceptabilité ou non d'exploiter ce modèle linéaire dans l'activité 2d, compte tenu du contexte d'utilisation du capteur (mesure de température dans l'habitat).
