

PROJET 1 – SNIOT : Conception d'un circuit imprimé d'un capteur thermique connecté

Introduction

L'objectif est d'apprendre à concevoir un circuit imprimé à partir d'un cahier des charges. Vous allez apprendre à

- Sourcer des composants
- Faire des choix techniques en fonction des contraintes
- Réaliser une conception (schéma + routage) sur KiCad V7.0
- Mettre en application vos connaissances en électronique
- Envoyer un PCB en fabrication

Beaucoup de choix techniques sont libres il faudra les justifier. Les rendus attendus sont :

- Le projet KiCad (avec les bibliothèques incluses)
- Le rapport de projet rempli
- Les fichiers de fabrication pour l'usine

Vous êtes autorisé à utiliser toutes les ressources à votre disposition. Le plagiat est bien sûr interdit vous devez trouver votre propre conception et faire vos propres choix. Vous êtes néanmoins autorisé à vous aider mutuellement ! N'hésitez pas à solliciter de l'aide si besoin. Il est interdit d'utiliser un routeur automatique vous devez réaliser le routage du PCB à la main.

La partie rapport de projet est surtout là pour vous guider et vous aidez à vous poser les bonnes questions.

Vous pouvez travailler en binôme pour la partie Choix des composants / Schéma électronique mais vous devez rendre un routage par personne.

Durée du projet : 3 séances

Cahier des charges

Nous souhaitons réaliser un capteur thermique connecté pour la surveillance de la température dans différentes salles de Seatech. Le capteur sera connecté au réseau Wifi de l'université pour remonter les données à un serveur. Vous êtes chargé de la conception du PCB pour l'envoi en fabrication.

Attention : afin de faciliter la correction je vous impose d'utiliser un microcontrôleur de la série ESP32 avec une antenne wifi intégrée (cela vous évitera de faire du design d'antenne ce qui n'est pas du tout l'objectif du projet).

Fonction	Nom	Description
F1	Mesure de la température	Mesure de la température ambiante une fois par heure avec une précision de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
F2	Envoi de la température	Envoyer la température ambiante via une requête HTTP sur un serveur en utilisant le réseau WIFI
F3	Alimentation	Alimentation sur batterie (Technologie Lithium/Polymer) avec une autonomie minimale de 7 jours
F4	Recharge	Possibilité de recharger la batterie via un connecteur USB-C – 5V – 500mA max. La charge doit durer maximum 4 heures. Une LED rouge s'allume quand la batterie charge. Une LED verte s'allume quand la charge est terminée. La LED rouge est éteinte quand la charge est terminée
F5	Mesure de la tension batterie	Mesure de la tension de la batterie une fois par heure. Une LED rouge s'allume en cas de batterie faible
F6	Programmation	Interface de programmation pour le microcontrôleur
F7	Interrupteur	Switch ON/OFF avec LED verte qui s'allume quand la carte est ON

Vous devez essayer de trouver un bon rapport taille / prix de la carte. La taille maximale autorisée est de 50mmx50mm

Rapport de projet

Choix des composants et schéma électronique

Micro-contrôleur

1. Pourquoi un micro-contrôleur de la gamme ESP32 semble particulièrement adapté pour le projet ? Trouver un autre micro-contrôleur qui pourrait être utilisé. Choisissez un module ESP32 avec antenne wifi intégré.

L'ESP32 est particulièrement adapté pour un projet nécessitant une connectivité sans fil car il intègre à la fois le Wi-Fi et le Bluetooth, ce qui simplifie la conception. Un module comme l'**ESP32-WROOM-32D**, avec antenne Wi-Fi intégrée, est idéal. Une alternative serait le STM32, plus adapté aux environnements industriels, mais nécessitant un module Wi-Fi externe, ce qui le rend moins pratique que l'ESP32 pour ce type de projet.

2. Quelle est la procédure pour programmer le micro-contrôleur ? En déduire l'interface nécessaire qu'il faudra prévoir sur la carte.

Pour programmer un ESP32, il faut utiliser un IDE comme Arduino ou ESP-IDF. Le programme est télé-versé via une interface JTAG, souvent avec un convertisseur USB-to-JTAG. Le langage de programmation utilisé sur l'IDE est souvent le C ou C++. Dans notre cas avec l'ESP32-WROOM-32D, le JTAG est relié aux broches 13, 14, 16 et 23.

Alimentation / Régulation de la tension

3. Quelle est la tension nominale d'une batterie lithium polymère ? La tension d'une batterie est-elle variable ? Quelle est la tension d'alimentation du bus USB ? Quelle est la tension d'alimentation du micro-contrôleur ESP32 ? Qu'en déduisez-vous sur la tension de fonctionnement de la carte ?

La tension nominale d'une batterie lithium polymère est de 3,8V. La tension d'une batterie est variable au cours de sa vie, mais elle est stable sur environ 80% (plateau) de sa durée de vie avec une tension supérieure à ce plateau en début de vie et inférieure en fin de vie. La tension d'alimentation du bus USB est de 5V en théorie, mais en pratique il peut donner une tension légèrement plus basse (4,8V). Le micro-contrôleur ESP32 est compris entre 3,0 et 3,6V selon la documentation, avec une tension recommandée de 3,3V. Étant donné que la tension d'alimentation du bus USB est de **5V** et que l'ESP32 fonctionne à **3,3V**, cela implique que la carte ESP32 utilise un régulateur de tension intégré pour abaisser la tension de **5V** à **3,3V**, qui est la tension nécessaire au bon fonctionnement du micro-contrôleur.

4. Quelle est la consommation du micro-contrôleur en transmission Wifi ? Prenez une marge d'environ 100mA et choisissez un composant de régulation de la tension de fonctionnement de la carte de type LDO.

La consommation du micro-contrôleur SP32 dépend de la configuration du Wi-Fi (Transmit 802.11b, Transmit 802.11g, Transmit 802.11n). Selon le type de Wi-Fi, la consommation varie entre 180 et 240 mA. En respectant une marge de 100mA, on choisit le composant

TLV767DRVx 1A de Texas Instrument. Il a une tension de sortie de 3,3 V ce qui est adapté à notre ESP32, un courant de sortie max de 1000mA (ce qui suffit largement dans notre cas pour respecter la marge) et un drop-out inférieur à 300 mV à pleine charge (donc efficace pour des sources autour de 3,7 V à 5 V).

Bonus : Quel est le risque avec le choix d'un LDO ? Pouvez-vous proposer un autre choix pour le composant de régulation ?

Si on choisit un LDO mal adapté, ayant un courant de sortie trop faible par exemple, il ne supportera pas la consommation du ESP32 en mode Wi-Fi.

5. Quelle est la consommation du composant de régulation quand $I_{OUT} = 0$ mA (=Quiescent current) ? Quand $I_{OUT} = I_{MAX}$?

$I_{OUT} = 0$ mA (Quiescent current) : 15 μ A.

$I_{OUT} = 1$ A : le courant interne propre reste faible (pas spécifié pour une augmentation notable)

En résumé, le TLV767 est un régulateur très économe en énergie pour les charges faibles à nulles, et sa consommation interne reste relativement faible même lorsque la charge atteint 1 A.

Capteur thermique

6. Choisissez un capteur thermique I²C. Vérifier que celui-ci est en stock chez un distributeur. Quel est son prix pour 100 pièces ? Justifier le choix du composant en fonction du cahier des charges.

On choisit le **STS3x-DIS** de Mouser qui a une précision de 0,1°C pour une plage d'utilisation de -40°C à 125°C. Sa tension nécessaire est compris entre 2,15 V et 5,5 V, ce qui correspond à la tension de notre système. Le prix unitaire pour 100 pièces est de 1,42€, soit 142,00€ le lot.

Autres

7. Trouvez des références pour les composants suivants : connecteur USB-C, interrupteur, voyants lumineux (LEDs). Justifier en vous appuyant sur le cahier des charges

Connecteur USB-C : 179-UJ32CHGSM TTR Mouser 1 A et 20 VAC, 0.8 mm

Interrupteur : Interrupteur à bascule ON-OFF lumineux LEX-3531714 avec cosses à souder (4,8 x 8,2 x 0,8 mm), diode intégrée à 15 mA

LED : LED BICOLORE ROUGE / VERT LetMeKnow197 RGB, Tension de fonctionnement: 2.5-3.3V, Courant de fonctionnement: 15-20 mA, Taille : 3mm

8. Avez-vous besoins d'autres composants ? Si oui lesquels ?

On peut ajouter des résistances et condensateurs pour faire des effets de filtres et stabiliser les signaux. On peut aussi mettre une ou plusieurs diodes pour empêcher des possibles retours de courant produits lors de la charge de la batterie.

Choix de la batterie

9. Faites une estimation de la consommation de la carte en veille et en fonctionnement (transmission wifi + mesure température).

$$P = (V_{In} - V_{out}) \times I_{Out} + V_{out} \times I_Q$$

$$P_{Min} = 3,3 \times (15 \times 10^{-6} + 10 \times 10^{-6} + 20 \times 10^{-3} + 1,7 \times 10^{-6} + 15 \times 10^{-6}) = 0,0661 \text{ W}$$

$$P_{Max} = 2,7 + 3,3 \times (1 + 240 \times 10^{-3} + 600 \times 10^{-6} + 20 \times 10^{-3}) = 6,86 \text{ W}$$

On multiplie ensuite la puissance par la durée d'utilisation pour obtenir la consommation. On fixe la durée d'utilisation (mesure de température et de tension) à 5 secondes par heure :

$$Conso_{Min} = 0,0661 \times 10^{-6} \times \frac{3595}{3600} = 6,6 \times 10^{-8} \text{ Wh}$$

$$Conso_{Max} = 6,86 \times \frac{5}{3600} = 0,01 \text{ Wh}$$

Donc on a une consommation moyenne de 10,01 mWh, soit **1680 mW par semaine**.

10. Dimensionner la capacité nécessaire de la batterie pour respecter le cahier des charges. Trouver une référence de batterie lithium polymère correspondant.

Avec une tension nominale de la batterie à 5 V, on a besoin d'une batterie de **336 mA**. On trouve la batterie BAT0003 Lithium Ion Polymère 3,7V 500mAh qui intègre un connecteur JST-PH femelle 2 points et un circuit de protection. Ce connecteur permet d'éviter les courts-circuits et dispose d'un détrompeur pour éviter les inversions de polarité. En revanche on doit également ajouter un connecteur JST-PH mâle à notre système pour le relier à la batterie. On ajoute alors le connecteur ADA 1769.

Recharge de la batterie

Connaissant la capacité de la batterie, choisissez parmi les composants suivant Justifier en vous appuyant sur le cahier des charges (vérifier que le temps de charge de la batterie respecte le cahier des charges) :

- MCP73831T-2DCI/MC : Ce composant a des options de voltage qui correspondent à notre système (4.20V, 4.35V, 4.40V, 4.50V), il est adaptée à un courant de charge d'intensité de 15 mA à 500 mA, il a une plage d'utilisation compris entre -40°C et 85°C ce qui correspond à nos besoins, et il est utilisé pour les batterie type lithium polymère. Selon la documentation (FIGURE 2-18 et 2-17), il faudrait environ 75 minutes, soit 1h15min, ce qui correspond également à notre cahier des charges (chargement > 4 heures).
- MM9Z1I638BM2EP
- BQ7790518PWR

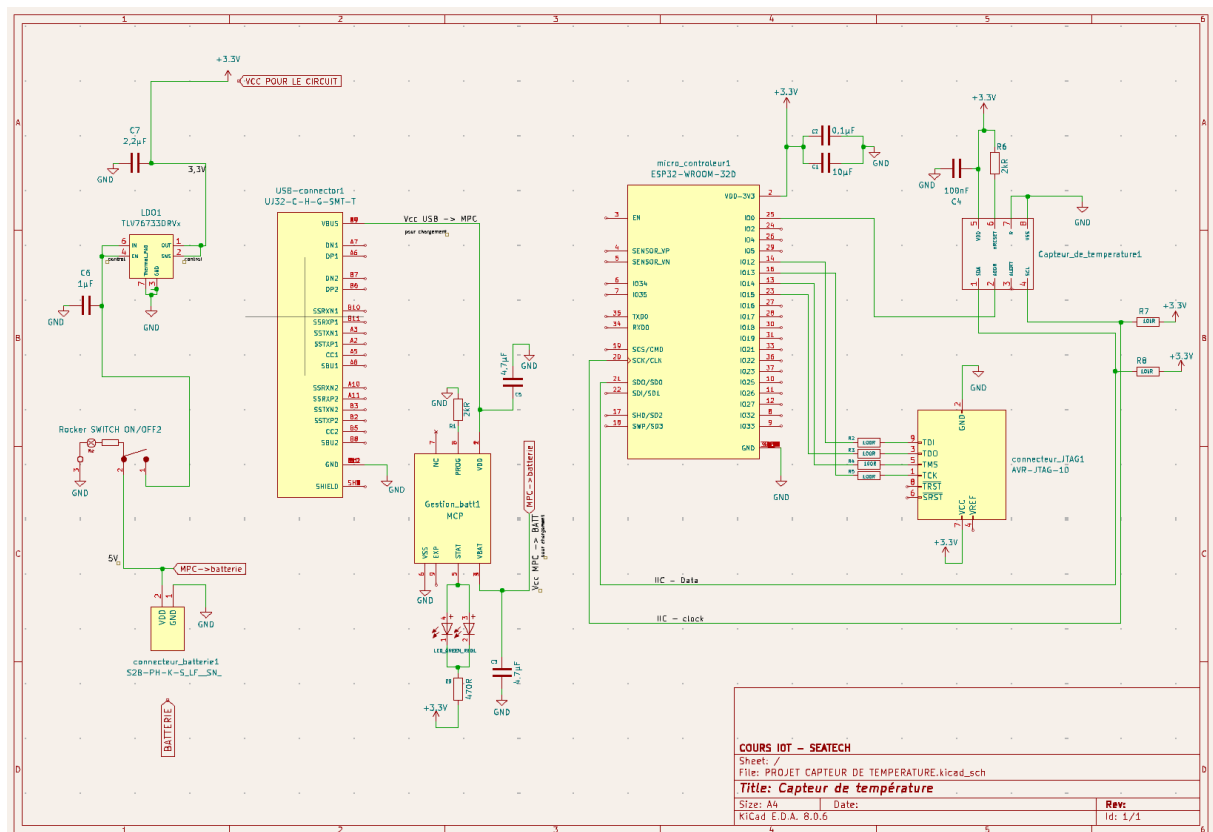
Réalisation du PCB

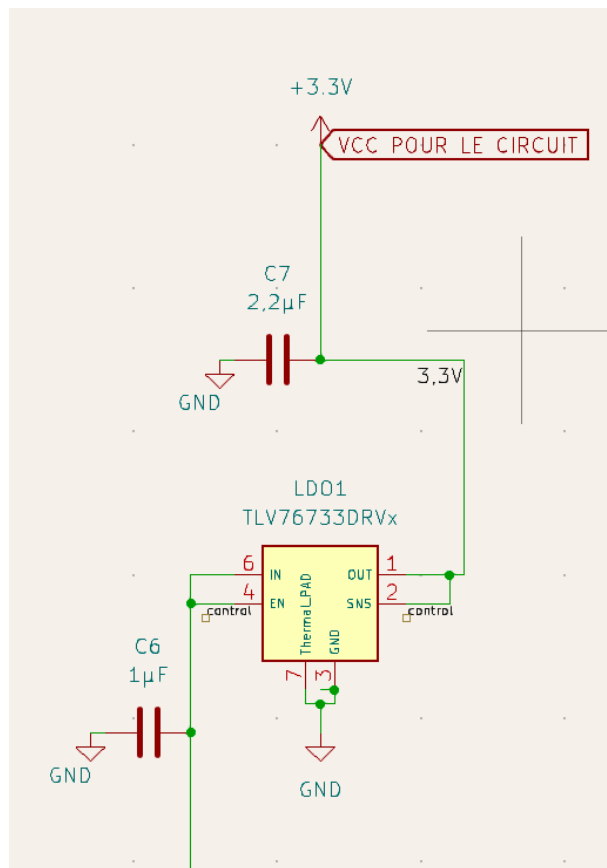
Schéma

1. Télécharger les symboles et les empreintes de tous les composants que vous avez choisis. S'ils ne sont pas présents dans les bases de données en ligne vous devez réaliser vous-même le symbole et l'empreinte ou choisir un autre composant.

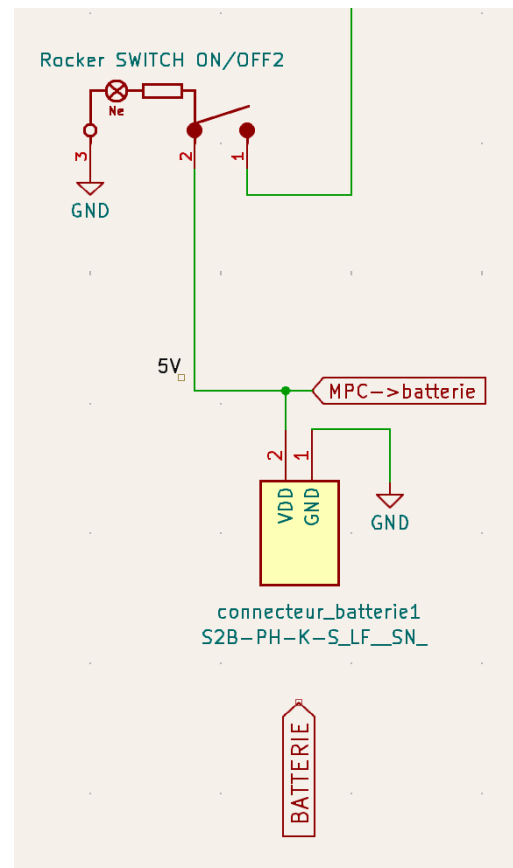
N'ayant d'empreinte téléchargeable, on change l'interrupteur par un WS-RSTV pour récupérer une empreinte déjà faite.

2. Réaliser le schéma électronique complet de la carte. Faites une copie d'écran de chaque partie du schéma : micro-contrôleur, capteur thermique, régulation de la tension, recharge batterie, voyants, connecteurs. Assurez-vous de ne rien oublier y compris les capacités de découplages !

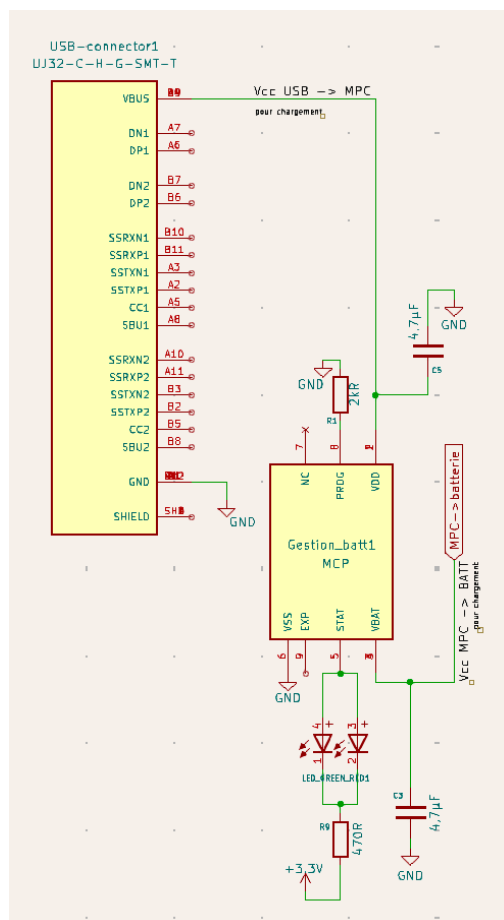




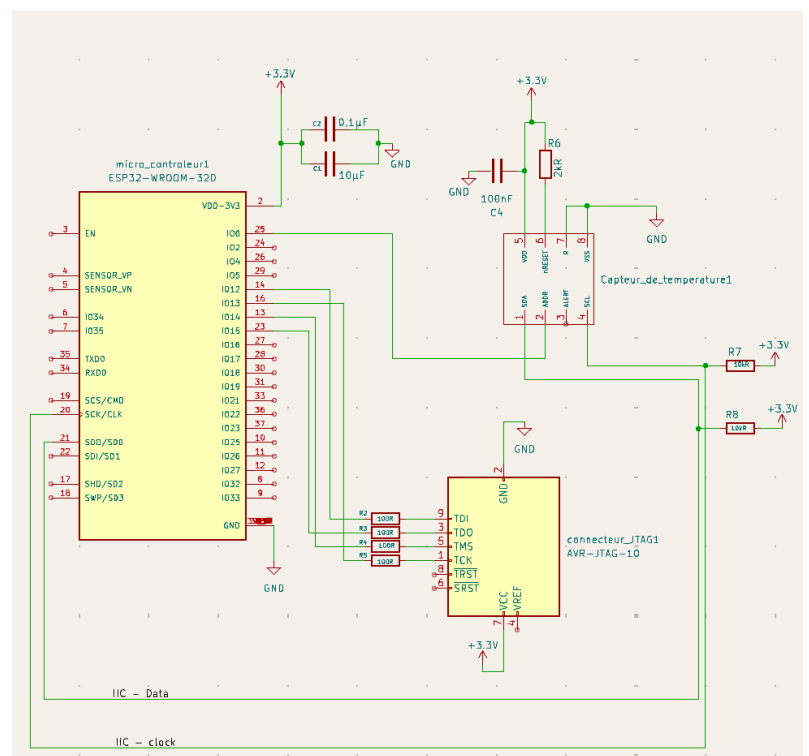
Symbole du LDO



Symboles du connecteur batterie et de l'interrupteur



Symboles du connecteur USB-C et du gestionnaire de batterie



Symboles du micro-contrôleur, du capteur de température et du connecteur JTAG

Routage

3. Importer la Netlist dans l'éditeur de PCB. Regrouper les composants par catégorie : micro-contrôleur, capteur thermique, régulation de la tension, recharge batterie, voyants, connecteurs.

Le JTAG que nous avons choisi n'est pas fourni avec une empreinte. Nous avons du lui en assigner une par défaut. Ne trouvant aucune empreinte de JTAG à 10 broches (ce qui correspond à notre JTAG), nous avons du en prendre une à 20 broches.

4. Quelle est le courant maximale possible dans la ligne d'alimentation ? Définissez une classe d'équipot pour l'alimentation en justifiant vos choix de largeur de pistes.

Après le LDO, la tension maximale est de 3,3V, et le courant de 0,5 A. Il faut alors une largeur minimale de piste de 0,05 mm. Cette largeur étant peu courante chez les fabricants, on choisit une largeur classique, soit 0,2 mm.

5. Combien de couches pensez-vous utiliser pour respecter les contraintes de tailles ?

Comme il n'y a qu'une dizaine de composants en tout (plus les résistances et condensateurs), nous pensons que 2 couches suffisent pour respecter les contraintes de taille.

6. Réaliser un routage complet. Avez-vous réussi à respecter la contrainte de taille ?

Fabrication

1. Exporter les fichiers de fabrication pour le sous-traitant de circuit imprimé
2. Exporter les fichiers de fabrication pour le sous-traitant d'assemblage
3. A partir de la BOM faites une estimation du prix des composants pour 100 pièces / 1000 pièces

Composants	100 pièces	1000 pièces
USB-C	127,00 €	927,00 €
LDO	50,70 €	394,00 €
Capteur T	102,00 €	793,00 €
ESP WROOM 32D	419,00 €	4190,00 €

Composants	100 pièces	1000 pièces
Interrupteur	2500,00 €	20800,00 €
Batterie	971,82 €	1938,16 €
LED RGB	20,00 €	160,00 €
Capteur de batterie	816,00 €	8160,00 €
Gestionnaire de batterie	73,40 €	657,00 €
TOTAL	5079,92	38019,16
COMPOSANTS		

4. Sur un site de fabricant de PCB de votre choix faites un devis pour 100 pièces / 1000 pièces en supposant que fabriquons des flans de 10 PCB.

Pour 100 pièces : \$84,74 soit 78,45€. Pour 1000 pièces : \$474,08 soit 439,08€. Ces prix inclus la livraison des PCB.

5. Faites une estimation du prix total de la fabrication du PCB.

Pour 1000 pièces fabriquées, on estime le prix total unitaire à **38,46€**.