

09 avril 2025



# Rapport Final Projet Collectif Deepred

CHAIRE DEEPRED – LYNRED – FONDATION GRENOBLE INP

Côme Campenet – Paul Fauvernier – Léo Schorlé – Alexandre Veyret

Polytech Grenoble – INP UGA  
IESE3

## Table des matières

Introduction.....	2
1 Etat des lieux .....	2
2 Objectifs du projet.....	2
2.1 Objectif global .....	2
2.2 Explication de l'épreuve.....	2
2.3 Cahier des charges .....	3
3 Gestion de projet.....	3
4 Développement technique.....	3
4.1 Electronique .....	3
4.1.1 Considération de conception.....	3
4.1.2 Circuit multiplexeur .....	4
4.1.3 Circuit à décalage de registre .....	4
4.1.4 Réalisation des circuits .....	5
4.2 Programmation .....	5
4.2.1 Connectivité.....	5
4.2.2 Logique et lien avec électronique.....	6
4.3 Boîte .....	7
4.3.1 Conception 3D .....	7
4.3.2 Impression 3D .....	7
4.3.3 Nouvelle solution.....	8
5 Bilan du projet et perspectives.....	8
5.1 Bilan .....	8
5.2 Perspectives .....	8
Conclusion et remerciements .....	9

## Table des figures

Figure 1 - Formules codes indices/solution.....	2
Figure 2 - Circuit multiplexeur (boutons d'entrée) .....	4
Figure 3 - Circuit à registre à décalage (LEDs indicatrices) .....	4
Figure 4 - Circuits finaux .....	5
Figure 5 - Page Web changement de code.....	5
Figure 6 - Page Web suivi du jeu .....	6
Figure 7 - Modèle 3D boîtier .....	7
Figure 8 - Image nouvelle boîte (digicode).....	8

# Introduction

---

La chaire DeepRed est une organisation qui vise à attirer l'attention du public sur les technologies infrarouges. C'est une chaire portée par la Fondation Grenoble INP et le soutien de Lynred. Notre projet s'inscrit dans ce cadre avec la reprise d'une épreuve présentée lors d'un Escape Game au salon Tech&Fest 2024.

## 1 Etat des lieux

---

Durant la première partie du projet, il nous a été demandé de recréer le jeu de la boîte à ampoules en palliant les problèmes rencontrés et appliquant des améliorations et idées que nous avons eues. Nous étions arrivés à avoir une boîte fonctionnelle. La boîte contient une matrice de 5 par 3 ampoules dont certaines s'allument pour dessiner un code que le maître du jeu a pu entrer. L'idée était alors que le code s'affiche lorsque la boîte est fermée, mais s'éteint lorsque la boîte est ouverte, alors pour lire le code il faut utiliser une caméra thermique infrarouge pour repérer les ampoules allumées qui ont donc chauffé. Nous avons créé une interface par Wi-Fi accessible depuis un navigateur (ordinateur ou mobile) qui permettait au maître du jeu d'entrer un code.

Le projet était donc complètement fonctionnel, mais ne représentait pas réellement un jeu en entier puisque difficile à intégrer tel quel dans un scénario d'Escape Game.

## 2 Objectifs du projet

---

### 2.1 Objectif global

Après la fin du premier semestre, nous avons eu la chance de voir notre projet présenté sur le stand Lynred du Tech&Fest 2025. Durant cette expérience très enrichissante, nous avons pu être conseillés sur le futur que nous allons donner à ce projet, en ayant l'idée d'une épreuve dont la fonction est de garder en action des joueurs pendant un certain temps. Après des réunions entre les membres du projet nous avons défini un cadre de jeu.

### 2.2 Explication de l'épreuve

Le jeu s'articule donc autour de deux codes indices et un code solution. L'idée est que les codes indices A et B s'affichent successivement sur les ampoules de la boîte mère, et qu'en les combinant grâce aux « formules » présentées en figure 1, les joueurs puissent reconstituer le code solution. Ainsi en entrant le code solution sur les boutons de la boîte fille, elle pourra ouvrir la suite du jeu (ouvrir une boîte, une porte, afficher un code, etc.).



Figure 1 - Formules codes indices/solution

Nous avons pensé qu'il serait intéressant de cacher dans la pièce de jeu des papiers avec ces formules ou même de les donner au fur et à mesure d'autres épreuves afin d'assurer une continuité entre l'épreuve précédente et celle-ci.

## 2.3 Cahier des charges

Nous avons donc décidé de critères que le résultat devait remplir :

- L'interface maitre du jeu devra être plus fluide permettre de prévisualiser les codes indices et modifier le code solution
- Les deux boites devront communiquer entre elles pour que les codes solution soient homogènes et que la boite fille reconnaisse le code donné par le maitre du jeu.
- Le boitier devra être pratique à utiliser
- Le digicode devra montrer avec des LEDs quels boutons ont été appuyés
- Ecriture d'un manuel d'utilisation en vue d'une utilisation par des personnes extérieures au projet

## 3 Gestion de projet

---

Pour mettre en œuvre ce projet, nous avons mis en place des outils de gestion de projet. En premier lieu, les réunions hebdomadaires que nous faisons au premier semestre se sont poursuivies sur celui-ci. Nous avons également repris le *GitHub* pour la gestion de version du code, avec une nouvelle branche permettant de travailler sur la nouvelle version du projet tout en gardant la première version fonctionnelle accessible en première page. Cette branche est vouée à disparaître en étant fusionnée pour garder la dernière version en première page. Nous avons également pu avoir des retours de notre responsable de projet ainsi que d'un ingénieur de *Lynred* en cours de projet.

Nous donnons le lien du *GitHub* : [https://github.com/comecampenet/boite\\_ampoules](https://github.com/comecampenet/boite_ampoules)

Nous nous sommes également séparé les tâches pour une meilleur efficacité :

- Côme Campenet : Code, partie connectivité BLE et Wi-Fi
- Paul Fauvernier : Boitier, conception et fabrication
- Léo Schorlé : Code, partie lien avec électronique et gestion du jeu
- Alexandre Veyret : Electronique, conception et fabrication

## 4 Développement technique

---

### 4.1 Electronique

#### 4.1.1 Considération de conception

Avant la conception du circuit nous avons réfléchi aux différentes options pour permettre aux joueurs d'entrer un code sur la boite. Dans un premier temps, nous avons réfléchi à l'utilisation d'interrupteurs ou de boutons avec verrouillage afin de donner un retour visuel sur l'état des boutons. Cependant, nous souhaitions que le système puisse être remis dans un état de base (tous les boutons éteints) sans avoir besoin qu'un opérateur n'ait à le faire (nous pourrions ajouter cette fonction à l'interface maitre du jeu). Cette considération n'est pas limitée aux Escape Games ; elle s'applique également à la présentation de jeux lors d'événements, facilitant le travail des présentateurs. Ainsi, nous sommes arrivés à un circuit nécessitant quinze LEDs ainsi que quinze boutons. Cependant, le microcontrôleur utilisé (esp32) utilisé n'a pas suffisamment de GPIOs (ports d'entrée/sortie standards) pour tout contrôler directement. Ainsi, nous avons décidé d'utiliser des

multiplexeurs pour gérer la détection d'appuie des boutons, et des registres à décalage pour contrôler les LEDs.

#### 4.1.2 Circuit multiplexeur

Chaque bouton est connecté à une sortie du multiplexeur et bénéficie d'une résistance de tirage vers le bas. De plus, ces mêmes boutons sont reliés à une résistance connectée au Vcc. La détection de l'état d'un bouton (appuyé ou non) s'effectue en analysant le niveau logique de la sortie correspondante du multiplexeur (haut si le bouton est appuyé, bas sinon). L'intégration d'une résistance de tirage vers le bas est fondamentale pour prévenir les lectures incorrectes par le microcontrôleur, notamment en évitant qu'un bouton non appuyé ne soit interprété comme étant enfoncé.

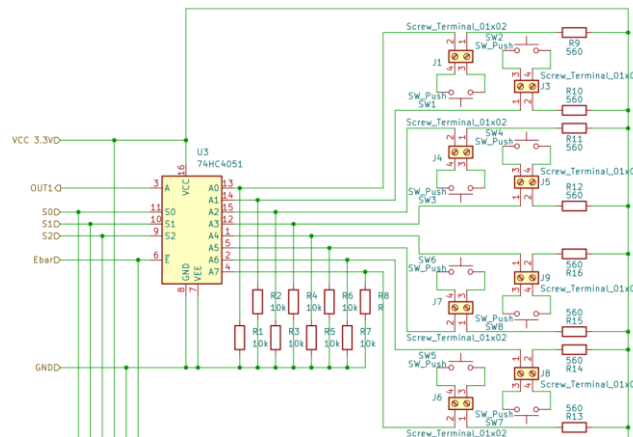


Figure 2 - Circuit multiplexeur (boutons d'entrée)

#### 4.1.3 Circuit à décalage de registre

La gestion de l'activation des LEDs indicatrices a été réalisée grâce à un circuit intégrant des registres à décalage. Le choix s'est porté sur le modèle 74HC595, reconnu pour sa capacité à alimenter des LEDs et à être mis en cascade. Cette configuration nous a permis de réduire le nombre de broches nécessaires du microcontrôleur à seulement 5 pour contrôler l'ensemble des 15 LEDs. De plus, la LED d'ouverture de la boîte est également pilotée par ce circuit (deux 74HC595 en cascade offrant 16 sorties). Chaque LED est connectée à une résistance de 560 ohms afin de prévenir tout dommage lié à un courant excessif.

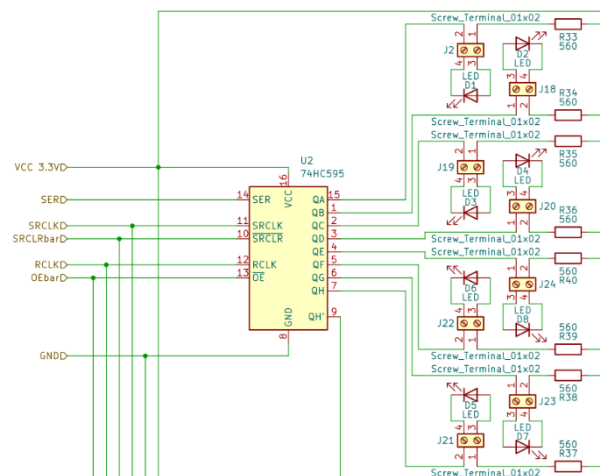


Figure 3 - Circuit à registre à décalage (LEDs indicatrices)

#### 4.1.4 Réalisation des circuits

Dans un souci de simplification du débogage, nous avons choisi de souder chaque circuit sur une plaquette à trous dédiée, une décision prise après l'achèvement des schémas électriques. Afin d'optimiser l'assemblage, des plans de positionnement des composants ont été établis avant le soudage, en raison de leur quantité et de leur interdépendance. Concernant le circuit avec les registres à décalage, nous avons opté pour une configuration où les bornes positives de chaque bornier sont connectées à la borne la plus proche du microcontrôleur, et ce, afin de simplifier le câblage des LEDs. De cette manière, nous assurons une orientation constante avec le + en haut et le - en bas. La phase de test et de débogage, consécutive au soudage, a permis d'identifier et de corriger des erreurs telles que des liaisons oubliées et des entrées flottantes. Le schéma du circuit final, désormais fonctionnel, est présenté en figure 4.

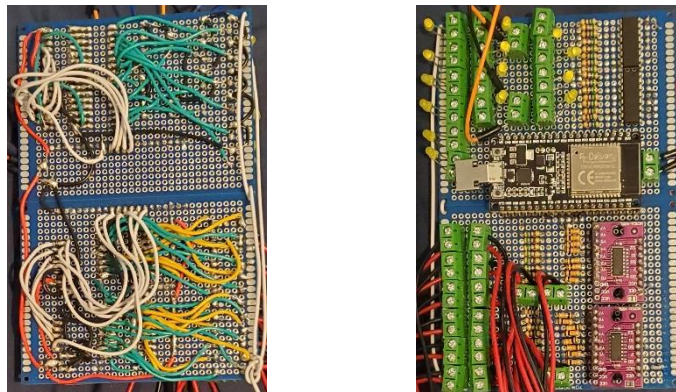


Figure 4 - Circuits finaux

## 4.2 Programmation

### 4.2.1 Connectivité

Nous avons choisi de tirer plus loin les idées de connectivité du semestre précédent. Nous avons alors pensé à une manière différente de gérer l'envoi du code. En effet, avec la version précédente, chaque appui sur un bouton envoyait une requête de changement d'état de la lampe correspondante. Cette méthode fonctionnait plutôt bien, mais dès que l'on appuyait sur plusieurs boutons en même temps ou très rapprochés, la réponse devenait longue ou même n'arrivait jamais.

Pour cela, comme la nouvelle version implique la cohérence entre 3 codes différents, nous allons réaliser l'encodage dans le navigateur en passant par du *javascript*. Il a donc fallu développer une nouvelle interface (figure 5) dans laquelle nous ajouterons un tableau pour dessiner le code solution, deux pour prévisualiser les codes indices A et B et un autre pour le code solution qui est actuellement dans le jeu.

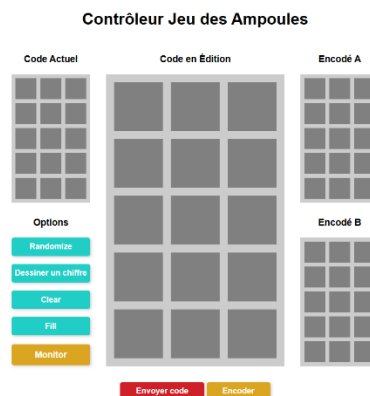


Figure 5 - Page Web changement de code

Avec cette nouvelle interface, le comportement du microcontrôleur se rapproche bien plus d'un serveur web classique pour n'importe quel site web. C'est-à-dire qu'il a pour rôle de répondre à chaque requête du navigateur, que ce soit pour demander la page web ou envoyer les codes solution et indices au server par exemple. C'est de cette façon que nous parvenons à rendre les réponses beaucoup plus fluides que précédemment.

Plus tard nous avons également eu l'idée de créer une page de statut où l'on pourrait voir les codes solutions et indices, le code formé par les boutons appuyés sur le digicode de la boîte fille (que nous récupérerons par BLE comme expliqué plus loin). Nous pourrions également changer le mode de fonctionnement de la boîte et accéder à la page de commande précédemment expliquée pour changer le code. Nous présentons cette page en figure 6.

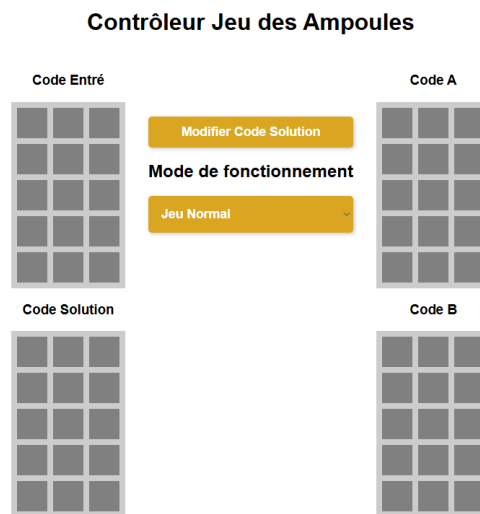


Figure 6 - Page Web suivi du jeu

Nous devons également assurer la communication entre les deux boîtes. Cette communication permettra à la boîte fille de récupérer le code solution et à la boîte mère de récupérer l'information des boutons appuyés. Nous avons fait le choix d'utiliser une connexion BLE (Bluetooth Low Energy) que les cartes esp32 permettent nativement. Nous avons préféré cette technologie au Bluetooth ou au Wi-Fi pour des raisons de performances. En effet le BLE permet de transmettre des petits flots de données sans utiliser beaucoup d'énergie, et nous ne devons transmettre que quelques octets de données à faible fréquence (une fois toutes les unes ou deux secondes).

Nous avons fait le choix de centraliser les rôles de serveurs BLE et Wi-Fi dans la boîte mère, cela pourrait permettre de changer la boîte fille pour adapter le jeu à différents scénarios et formats d'épreuves (affichage de code, ouverture de boîte, etc.).

#### 4.2.2 Logique et lien avec électronique

Ce programme implémente un système de verrouillage électronique utilisant un ensemble de boutons pour saisir un code d'accès. Il repose sur plusieurs fonctionnalités essentielles : la lecture des entrées utilisateur, la comparaison avec un code prédéfini, et l'activation d'un mécanisme de déverrouillage en cas de correspondance.

Tout d'abord, le programme lit l'état de 15 boutons en utilisant un multiplexeur pour optimiser l'utilisation des broches du microcontrôleur. Les valeurs des boutons sont stockées dans un tableau, puis affichées sur le moniteur série pour permettre un suivi et un éventuel débogage. Lorsqu'un

utilisateur entre un code, le système compare cette séquence avec un code de référence prédéfini. Si la séquence est correcte, un signal est envoyé pour activer un dispositif de déverrouillage (par exemple, un relais ou un électro-aimant) pendant une durée déterminée, avant de revenir à son état initial.

En parallèle, le programme utilise un registre à décalage pour gérer l'affichage et la transmission des états des boutons. Ce registre reçoit les données bit par bit et les verrouille afin de garantir une mise à jour stable et fiable des informations stockées. Un délai minimal est introduit pour éviter les erreurs d'écriture dues à des transitions trop rapides.

Enfin, une phase d'initialisation configure les broches du microcontrôleur en entrées ou sorties en fonction de leur rôle (lecture des boutons, contrôle du mécanisme de verrouillage, gestion des signaux du registre à décalage). Grâce à cette structure, le programme assure une gestion efficace du verrouillage, en garantissant à la fois la précision de la lecture des boutons et la fiabilité du mécanisme de sécurité.

## 4.3 Boîte

### 4.3.1 Conception 3D

Pour accueillir le système, nous avons décidé d'utiliser une boîte rectangulaire de dimensions adaptées ( $165mm \times 105mm \times 90mm$ ). Nous avons positionné des supports aux quatre coins de la boîte afin de maintenir la plaque contenant les boutons et indicateurs LEDs. La plaque qui contient les LEDs est percée de quinze trous prévus pour accueillir les boutons associés chacun avec une LED permettant de savoir quel bouton a été pressé ou non. Les boutons et indicateurs sont tous placés de façon à reprendre la disposition de la boîte mère donnant un indice aux joueurs sur le lien entre les deux boîtes et une correspondance avec les schémas donnés.

### 4.3.2 Impression 3D

Le modèle initial prévoyait une impression de vingt-huit heures. Une première tentative s'est résulté par un échec car il n'y avait plus de filament dans l'imprimante. Pour augmenter les chances de réussite de l'impression, nous avons donc décidé de séparer le corps de la boîte en deux sous-parties. Pour relier ces deux morceaux, nous avons ajouté des supports de vis sur les côtés. Afin de renforcer la boîte nous avons prévu d'ajouter des points de colle dans les coins. Plusieurs autres tentatives d'impressions ont malheureusement aussi échoué.

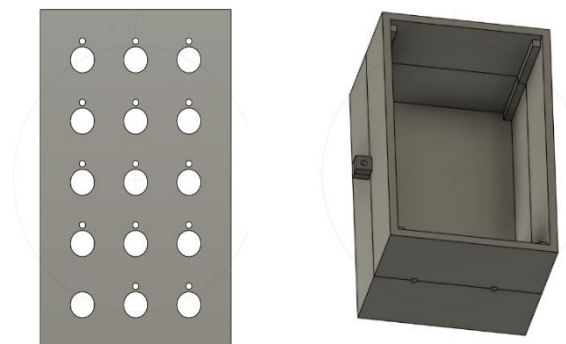


Figure 7 - Modèle 3D boîtier



#### 4.3.3 Nouvelle solution

Les tentatives d'impression n'ayant pas abouti et la fin du projet approchant, nous avons décidé de trouver une boîte déjà faite et de l'adapter pour notre projet. Nous avons donc trouvé une boîte qui, initialement, servait à ranger des couteaux de cuisine. Nous l'avons percé pour correspondre aux caractéristiques dont nous avons besoin (boutons, indicateurs et alimentation). Nous y avons installé le système et ajouté un film en PVC afin de corriger visuellement les éclats de perçage.



Figure 8 - Image nouvelle boîte (digicode)

## 5 Bilan du projet et perspectives

---

### 5.1 Bilan

Nous avons réussi à aboutir ce projet à un stade quasiment final. En effet les deux boîtes communiquent parfaitement, les interfaces fonctionnent également bien et nous arrivons toujours à afficher le code sur la matrice d'ampoules. Les points qui séparent l'état actuel de l'état final terminé sont la gestion du jeu (ordre des codes, délais, alternance infrarouge/visible, etc.) et la boîte fille qui peut être améliorée. A noter que ces détails seront réglés dans les prochaines semaines.

### 5.2 Perspectives

L'une des premières perspectives pour ce projet réside dans l'extension de la modularité des boîtes utilisées. En permettant à la boîte fille de s'adapter à différents types de scénarios et en intégrant plusieurs formats de jeux, nous pourrions offrir une plus grande diversité d'expériences pour les joueurs.

Nous pourrions également penser à d'autres modes de jeu, qui permettraient d'étendre les possibilités pour inclure l'épreuve dans différents scénarios.

## Conclusion et remerciements

---

Ce projet nous a permis d'apprendre à mieux travailler en équipe pour aboutir un projet ainsi que d'améliorer nos compétences. En effet, en termes de compétences, ce projet balaye différentes compétences telles que l'électronique de puissance et numérique, l'utilisation de microcontrôleurs, les technologies de connectivité (BLE, Wi-Fi) ainsi que la modélisation et impression 3D. Cela nous a permis d'appliquer certains principes que nous avons vu en cours, permettant de mieux comprendre les notions abordées. Nous avons pu, durant la réalisation de ce projet, profiter des compétences et capacités personnelles de chacun des membres de l'équipe.

Nous remercions notre responsable de projet, Jocelyn Chanussot pour son accompagnement et ses précieux conseils tout au long du projet. Nous remercions également l'entreprise Lynred et la fondation Grenoble INP pour nous avoir permis d'apporter notre contribution à la chaire DeepRed. Enfin nous tenons à remercier les techniciens et enseignants de Polytech Grenoble particulièrement M. Ceresa pour son aide technique surtout en début de projet.