Driver pour MFRC522

Table of Contents

En deux mots

Nous allons écrire un **driver pour le chip MFRC522,** qui permet de communiquer avec des puces RFID. C'est donc ce qu'on appelle communément un **"lecteur de cartes";** une "carte" contenant une puce avec une mémoire extrêmement limitée.

Présentation du matériel

Lecteur de carte MFR522

Ce projet se faisait auparavant avec un vrai lecteur de cartes physique, une carte iHaospace MFRC522. On se propose désormais de le mener à bien avec une version **émulée** de la carte.

L'émulateur consiste en un module kernel, accompagné de sa représentation dans le *device tree*, tous deux fournis sous forme de patches. Il utilise l'API *regmap* du kernel Linux pour exposer une interface haut-niveau type SPI/I2C, sauf que les *callbacks* de lecture/écriture y sont personnalisées entièrement, permettant ainsi d'émuler des registres, avec une machine à états imitant le comportement du matériel originel.

A la base, il s'agit vraiment d'une petite carte avec un processeur minimaliste, un ensemble de registres, et des antennes standards ISO/IEC 14443 pour communiquer en RFID. La carte expose quelques fils pour se connecter, originellement en SPI.

Board ARM hôte

L'utilisation d'un *device tree* impose de ne pas être sous architecture Intel commune à nos laptops et autres ordinateurs de bureau. Pour éviter de dépendre, là encore, de matériel, on fera tourner un **Linux 4.9** sur une cible ARM **Versatile PB émulée par QEMU.** Cette cible a déjà été mentionnée rapidement dans le cours; c'est une carte industrielle relativement ancienne, mais largement suffisante pour nos besoins et bien supportée par QEMU.

A l'origine, ce projet se réalisait sous Raspberry Pi. Si vous en avez l'envie, vous pouvez compiler un kernel pour celle-ci, en arrangeant le *device tree* correctement et en rajoutant mon module d'émulation. La procédure est bien documentée sur le site officiel. Mais soyez prévenus: je n'ai pas testé…

Un lecteur de cartes, comment ça marche ?

Le lecteur: MFRC522

Ce chip implémente la technologie *MIFARE*, de *NXP Semiconductors*. Celle-ci propose un système de carte à puces, basé sur le standard ISO/IEC 14443; celle-ci est à l'origine des puces RFID communiquant sur 13,56MHz que l'on retrouve un peu partout (badges, tickets pour évènements…).

MIFARE englobe plus d'aspects que ces simples tags RFID puisque même notre carte "Vitale" utilise une de ses sous-familles, cette fois pour faire une carte à puce autonome. Dans tous les cas, le but est **l'identification** du porteur de carte.

On a donc deux objets à considérer, définis par le standard:

- Un "lecteur" de puces, qui peut les lire voir en modifier le contenu; on l'appelle le PCD (**Proximity Coupling Device**).
- Une puce "cliente", contenant une petite mémoire, qui suit un format particulier; on l'appelle le PICC (**Proximity Integrated Circuit Card**).

Le tag RFID: ISO/14443

Un tag RFID contient une antenne passive, qui ne s'alimente qu'en présence d'un champ RF (celui du lecteur). De plus, il contient une mémoire suivant un certain format.

Les cartes MIFARE sont des tags contenant chacune un **UID sur 32 bits**, des **clés** servant à l'authentification, et des données utilisateur.

En l'état actuel de l'émulateur, les cartes MIFARE ne sont hélas pas disponibles; je vous laisse des liens dans les ressources, pour les curieux qui voudraient savoir comment leur carte Vitale marche (en gros).

L'API Regmap

C'est l'API que vous allez utiliser pour communiquer avec le MFR522.

Regmap, pour quoi faire ?

Le chip MFRC522 expose trois interfaces physiques, toutes des bus série:

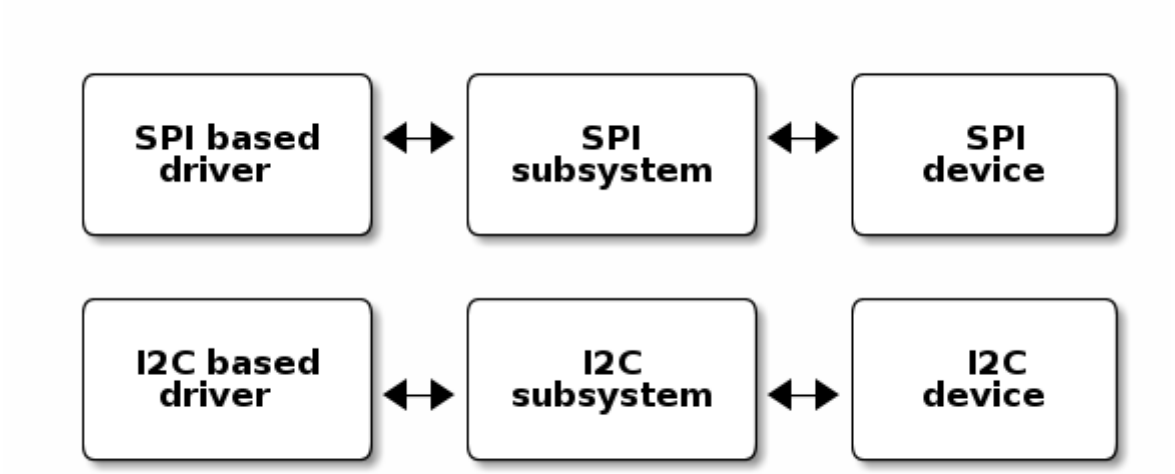
- UART
- SPI
- I2C

Normalement, on aurait utilisé l'interface SPI.

Cependant, nous allons travailler sur une version émulée qui **ne nécessite pas de comprendre ces bus.** En effet, l'API *regmap* avec laquelle l'émulateur est implémentée, va aussi servir à toutes vos communications avec celui-ci. Dans son utilisation "normale", l'API *regmap* est conçue pour faciliter

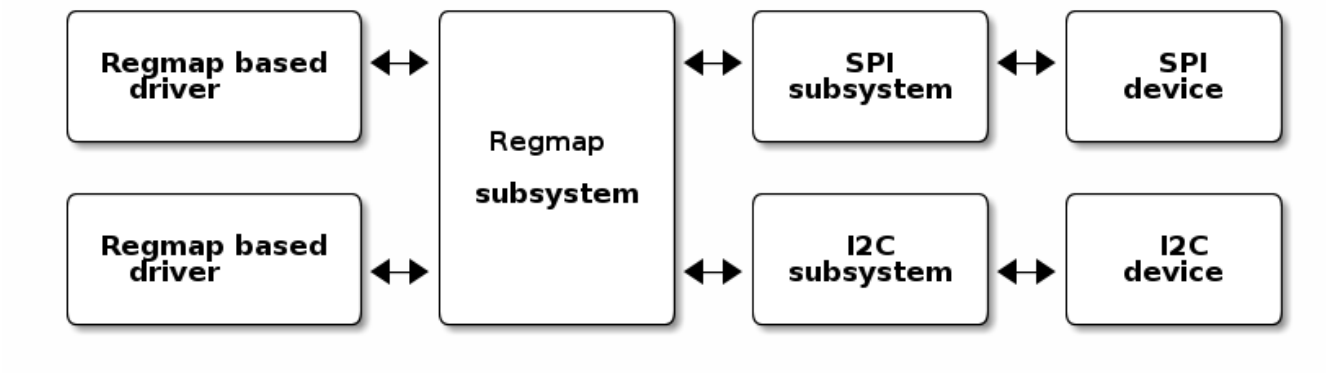
la vie de l'écrivain de pilote Linux, qui aurait besoin d'utiliser le *SPI* ou l'*I2C*. Un peu de contexte…

Ces deux bus simples sont utilisés depuis longtemps dans l'industrie. Historiquement, deux APIs dédiées coexistent: une pour le SPI (`linux/spi/spi.h`), et une pour l'I2C (`linux/i2c.h`). Ces deux bus ont des câblages différents, une logique d'horloge différente (synchrone vs asynchrone)…ce qui justifie de les traiter par des APIs différentes. Sur le fil, on ne s'y prend pas de la même manière pour transmettre la même information. Ce sont en revanche des bus très simples, et on parle de débits avoisinant de base les 100KHz. Mais le peu de fils nécessaires (3 pour le SPI, 4 pour l'I2C) convainquent les ingénieurs électroniciens de s'en servir pour s'interfacer avec des périphériques simples: *watchdogs*, contrôleurs d'écrans LCD, et bien d'autres…



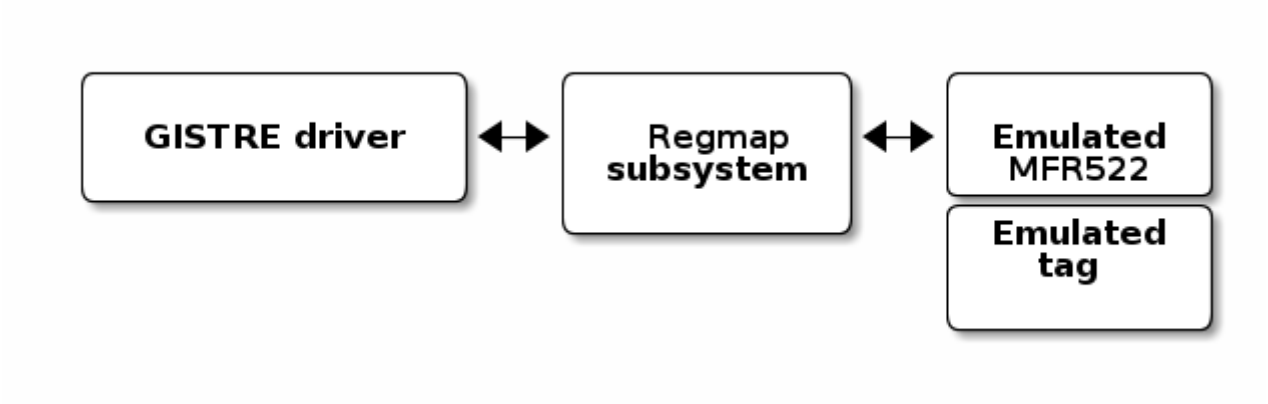
En revanche, en y regardant de plus près, les deux APIs Linux sus-citées exposent quasiment la même chose, à une configuration en amont près. **SPI et I2C se manipulent de façons très similaires.** Pourquoi donc ne pas essayer de **"cacher" les détails sous une API unique**, qui ne demanderait que le type de bus visé et saurait s'occuper du reste ? De là naquit *regmap*. Les fonctions de lecture/écriture qu'elle offre font appel aux "bonnes" fonctions du bus concerné, et s'arrange même pour configurer correctement; une fois qu'on a dit que le périphérique derrière utilise SPI ou I2C, on utilise toujours les mêmes fonctions, dont les plus basiques sont:

```
int regmap_read(struct regmap *map, unsigned int reg, unsigned int *val);
int regmap_write(struct regmap *map, unsigned int reg, unsigned int val);
```



Et l'émulateur, comment fait-il ?

Avec la possibilité de configurer intégralement les fonctions de lecture et d'écriture (normalement pour écrire des procédures qui ont besoin de faire des opérations que les APIs standards ne comportent pas), *regmap* est un outil puissant. Ici, comme dit plus haut, on en profite pour manipuler une `struct mfr522_dev` qui émule tous les registres qui nous intéressent; et au final, on ne sort jamais de *regmap*. **Votre driver va donc s'interfacer comme ceci:**



De votre côté, c'est un plus: **les fonctions d'écriture/lecture sont donc déjà prêtes,** et **vous n'avez à vous soucier ni de comment configurer un bus, ni de comprendre comment se baladent les octets** sur le fil.

Vous voulez écrire dans un registre: vous appelez `regmap_write()` dessus.

Comment coder le projet ?

Pour ce projet, je vous fournis deux choses: un *rootfs*, et des patches.

Rootfs ?

Le *rootfs*, c'est le système de fichiers que vous allez passer à votre Linux lancé sur une émulation de "Versatile PB" par QEMU, sous forme d'une archive compressée.

Il contient un shell, et la plupart des outils en ligne de commande que vous êtes habitués à utiliser. Il reste limité, mais largement suffisant.

Je vous explique comment l'utiliser dans le paragraphe sur QEMU.

Que contiennent les patchs ?

Mes patchs sont à appliquer sur le code *entier* de Linux. Comme dit plus haut, on prendra la version 4.9.

```
$> git clone https://github.com/torvalds/linux.git linux
$> cd linux/
$> git checkout v4.9
$> git am *.patch
```

Emulateur

Un des patchs vous fournit le module d'émulation dans `drivers/gistre/mfr522_emu.c`.

Un *header* avec une petite API se trouve dans `drivers/gistre/mfr522.h`, et contient une poignée de fonctions dont vous aurez besoin pour obtenir et communiquer avec l'instance de `struct mfr522_dev` qui représente le lecteur de cartes. Ce header se veut générique: si ce n'est pas un émulateur mais la vraie carte qui est derrière, on devrait pouvoir utiliser le même.

Device Tree

Pas de matériel (même virtuel !) sans description dans le *device tree*. Un des patchs modifie `arch/arm/boot/dts/versatile_ab.dts` pour rajouter le lecteur de cartes sous le bus I2C de la "Versatile PB".

NOTE	Les plus attentifs auront remarqué que je dis que je fais d'habitude utiliser l'interface SPI du MFR522. En fait, il n'y a pas de SPI qui ne soit supporté par QEMU pour cette *board*. Et avec *regmap*, je peux mentir si je veux. :)

Config kernel

Qui dit compiler pour "Versatile PB", dit utiliser `arch/arm/configs/versatile_defconfig`. Pour s'assurer de compiler mon module d'émulation de base, je l'active par défaut dans ce fichier.

Pièges de l'émulateur

Mon émulateur est très modeste. Les commandes et registres qu'il supporte sont faciles à trouver: ce sont ceux décrits dans mes *headers*. Vous recevrez de toutes façons le code `-EIO` en retour d'une opération de lecture ou écriture, si le registre visé n'est pas supporté.

Ensuite, comme vous allez utiliser son API implicitement (à la différences de symboles exportés comme vus parfois en cours), vous allez avoir besoin de dire à Linux d'insérer votre module toujours après le mien. Pour cela, rajoutez dans le *scope* global:

```
MODULE_SOFTDEP("pre: mfrc522_emu");
```

Coding style

La *coding style* du kernel Linux doit obligatoirement être suivie. Je passerai *checkpatch* sur votre rendu avant même de le tester, ou de le lire.

Du reste, je vous demanderai la même chose que tout le monde: du bon sens. Si votre variable s'appelle *a*, que votre code ne définit pas de sous-fonctions là où cela aurait aidé à le rendre plus digeste, etc. ne vous étonnez pas si je vous pénalise.

NOTE	La sortie très récente (1er juin) du kernel 5.7 a amené un changement: la limite de 80 colonnes passe à 100. Je vais donc être *fair-play*: vous y avez le droit…

Où écrire mon driver ?

Je m'attends à ce que vous écriviez votre driver **dans `drivers/gistre/`.** Il faudra juste modifier le `Makefile` et le `Kconfig`.

Mais alors, on ne compile pas un module ?

Non, cette fois-ci **je vous demande de compiler votre module en *built-in* dans le kernel.** Cela ne devrait pas être difficile: nous avons déjà fait un exercice (corrigé) comme cela, dans la partie "Device Tree" du cours. Le support du tout premier cours vous explique comment faire (même la *board* est bonne). Seul changement: vous devrez modifier la configuration *Kconfig* du kernel pour que votre driver en fasse partie, parce que la config de base ne le connaît pas. En gros:

```
$> export ARCH=arm
$> export CROSS_COMPILE=arm-linux-gnueabi-

# Config de base pour la "Versatile PB"
$> make versatile_defconfig
# Admettons que votre option Kconfig s'appelle "CONFIG_FOO"...
$> echo "CONFIG_FOO=y" >> .config

$> make
```

NOTE	Je sais qu'en cours, cette partie a été "sautée" cette année. Rien de compliqué, ne vous en faites pas; et le support du premier cours en parle un peu aussi. Inspirez-vous du fichier `drivers/gistre/Kconfig`.

De quelles APIs ai-je besoin ?

L'API *regmap*, qui est nouvelle pour vous, se trouve dans `include/linux/regmap.h`. Je vous laisse le soin de la découvrir, les deux fonctions citées plus haut sont la base absolue, mais d'autres peuvent s'avérer pratiques.

Côté émulateur, comme dit plus haut, vous n'avez besoin que de `drivers/gistre/mfrc522.h`. Il vous permet de trouver le MFRC522, et à partir de lui, de sortir une instance de `struct regmap`.

Niveau *format* de données, on ignore complètement le bus: si vous voulez écrire dans le registre *toto*, vous faites `regmap_write(dev, toto, val)`.

Comment communiquer avec le MFR522 ?

Ce lecteur de cartes expose un **jeu de commandes** accessible depuis le bus SPI/I2C émulé. Je vous laisse le soin de lire le manuel du MFR522 indiqué dans "Ressources" pour comprendre comment parler le langage de la bête.

Le manuel est verbeux. C'est normal: c'est aussi un exercice de tri de l'information pour vous, et l'occasion de lire une *datasheet* raisonnablement complexe.

Comment lancer QEMU ?

Pour rappel, vous avez besoin du paquet "ARM" de QEMU, *qemu-system-arm* sous Debian.

Une fois votre Linux compilé, lancez:

```
$> qemu-system-arm \
     -M versatilepb \
     -m 128 \
     -kernel arch/arm/boot/zImage \
     -dtb arch/arm/boot/dts/versatile-pb.dtb \
     -initrd rootfs.cpio.gz \
     -serial stdio \
     -append "console=ttyAMA0,115200 initrd=/bin/bash"
```

Il y a un utilisateur *root* sans mot de passe.

Implémentation attendue

Palier 0 (2 pts)

Prenons en main l'existant.

- **Clonez** les sources de Linux.
- **Patchez**-les avec mes patches.
- **Compilez** le tout.
- **Lancez** ça sous QEMU, avec mon *rootfs*.
- Dites-moi quel **message d'accueil** Linux vous donne au moment de se loguer.

Palier 1 (3 pts)

Posons les bases, en ajoutant un module `gistre_card` simple. Ce n'est même pas un driver en mode caractère, juste un module simple pour l'instant. Votre module doit:

- **S'initialiser et se clore** correctement;

- A l'initialisation, **afficher "Hello, GISTRE card !"** dans les traces du kernel;
- A l'initialisation, récupérer l'instance de `struct mfr522_dev` via l'API que je vous fournis, et **afficher la valeur de la propriété `version`** contenue dans le noeud *device tree* associé. Vous devez bien évidemment utiliser l'API de `linux/of.h` pour cela, et pas me répéter ce que vous êtes allés lire dans le *device tree*...

Palier 2 (7 pts)

Préparons les échanges avec le MFR522. Vous allez faire de votre module un driver en mode caractère simple, qui va exploiter une unique commande du MFR522. Une fois cela fait, ajouter de nouvelles commandes devrait s'avérer assez aisé.

- Commencez par faire de votre module un **driver en mode caractère,** en faisant ce qu'il faut à l'initialisation et au retrait. Vous devez obtenir un majeur alloué *dynamiquement*, et pas statiquement.
- **Sur appel de `write()`,** interprétez les données envoyées comme une chaîne de caractère qui donne le nom de la commande à soumettre, et ses éventuels arguments, sous le format `commande:arg_1:arg_2:⋯:arg_N`. J'explicite dans le tableau ci-dessous.
- **Sur appel de `read()`,** renvoyez les données que la commande aura générées.
- En lisant le manuel du MFRC522, vous vous apercevrez que certaines commandes peuvent adopter différents comportements. Pour palier à cela, je vous propose une "API" simple, qui différenciera ces cas.

Votre driver doit supporter les commandes suivantes:

Commande	Arguments	Description
mem_write:<len>:<data>	`len` est le nombre d'octets que fait `data`. Si ce nombre excède la capacité du matériel (indiqué dans le manuel), le code doit "couper" pour ajuster. `data` est une suite d'octets quelconque.	Correspond au mode "écriture" de la commande *Mem*. Ecrit forcément 25 octets, en complétant avec des zéros si nécessaire. Ecrase les données précédentes.
mem_read	Aucun.	Correspond au mode "lecture" de la commande *Mem*. S'il y a des données à lire, renvoie forcément 25 octets, en complétant avec des zéros si nécessaire. Sinon, renvoie zéro.

Comment tester ?

```
# Admettons que votre numéro de majeur soit 255
#> mknod /dev/card c 255 0

#> echo -n mem_write:5:hello > /dev/card
#> echo -n mem_read > /dev/card
#> card /dev/card
hello
```

Palier 3 (3 pts)

En se basant sur le palier précédent, rajoutons le support pour la commande de génération de nombre aléatoire du MFRC522.

Commande	Arguments	Description
gen_rand_id	Aucun.	Correspond à la commande *GenerateRandomId*.

Comment tester ?

```
# Admettons que votre numéro de majeur soit 255
#> mknod /dev/card c 255 0

#> echo -n gen_rand_id > /dev/card
#> echo -n mem_read > /dev/card
#> hexdump /dev/card
0000000 0d83 a9fb 81b1 8c4f 3dae 0000 0000 0000
```

Bonus 0 (2 pts)

Ajoutez le support pour `select()` ou `poll()` sur votre *device*, en lecture uniquement.

Bonus 1 (3 pts)

Exposez des statistiques de votre driver au *userspace*, via le *sysfs*.

- Vous pouvez **créer votre propre classe**, ou **réutiliser une existante.**
- Les statistiques attendues sont:
  - Nombre de bits lus dans le buffer interne du MFR522, dans un attribut `bits_read`.
  - Nombre de bits écrits dans le buffer interne du MFR522, dans un attribut `bits_written`.

Bonus 2 (2 pts)

Ajoutez une mini-commande de debug.

- **Sur appel de `write()`** avec une nouvelle commande, **activez des traces de debug** supplémentaires dans votre code, qui s'afficheront dans les logs kernel.
- Les traces doivent être **désactivées par défaut.**
- Les traces doivent montrer tous les **octets lus depuis / écrits vers** le MFRC522, en se limitant à 5 octets par ligne, sous le format:

```
<OP>\n
%02x %02x %02x %02x %02x\n
%02x %02x %02x %02x %02x\n
<etc.>
```

...où <*OP*> est soit "WR" pour l'écriture, soit "RD" pour la lecture.

Commande	Arguments	Description
debug:<mode>	`mode` vaut "on" pour activer les traces, "off" pour les désactiver. Si pas l'un de ces deux arguments, ne rien changer.	(Dés)active les traces de debug avec le format ci-dessus.

Bonus 3 (1 pt)

Adaptez votre code pour pouvoir **gérer plusieurs *devices*** dans votre *driver*. Le nombre maximal de devices à gérer doit être modifiable par un **paramètre de module.**

Bonus N

Ce que vous voulez (enfin, demandez-moi d'abord!) :)

Organisation

Perso, ou en groupe?

Le projet devrait se réaliser en groupe de deux ou trois, idéalement. Si vous ne pouvez/voulez pas respecter cela, vous devez m'en informer en le justifiant.

Votre groupe doit avoir un numéro unique.

Format de rendu

Le rendu doit se faire sous la forme d'une archive *groupeX.tar.gz*, où "X" est votre numéro de groupe. Son contenu est le suivant:

- **groupeX/**
  - **README**: Contient:
    - Les noms des membres du groupe;
    - Un bref descriptif de la façon dont vous avez organisé votre code;
    - Si vous avez des questions ou remarques particulières, c'est aussi l'endroit où les mettre. Sur le cours, le projet…
  - **Un patch**: Contient:
    - Un ajout à `drivers/gistre/Makefile` pour compiler votre/vos module(s) en *built-in*.
    - Un ajout à `drivers/gistre/Kconfig` pour donner l'option de configuration associée à votre module.
    - Votre/vos fichier(s) `.c` et `.h`.

Je tâcherai de vous rendre, de mon côté:

- Une implémentation de référence;
- Une correction individuelle (par groupe, j'entends): le code source commenté par mes soins, si je trouve une remarque pertinente à vous faire;
- Si vous avez posé des questions dans le *README*, j'y répondrai dedans.

Notation

Les *paliers* doivent être réalisés dans l'ordre indiqué. Seul le premier palier est obligatoire.

Les *bonii* peuvent être réalisés dans n'importe-quel ordre. Il n'y a pas besoin d'avoir fini d'autres paliers que le premier, pour entamer les *bonii*.

Un palier ou *bonus* rapporte tous ses points s'il est fonctionnel, et moins s'il est incomplet, ou que je trouve quelque chose à redire à l'implémentation (comprendre: vous avez conçu une solution excessivement compliquée ou alambiquée). Je vous encourage à commenter le code que vous écrivez, en particulier si vous souhaitez me soumettre une partie incomplète; je pourrai ainsi mieux comprendre quelle "bille" vous manquait pour compléter la solution.

Je peux également décider de *retirer des points* pour pénaliser du code fonctionnel, mais avec une forme discutable.

WARNING	Ca ne compile pas / Non-respect de la *coding style* du kernel / Non-respect du format de rendu → zéro.

Ressources

MFRC522 & MIFARE

- La carte iHaospace utilisée pour ce projet: https://www.amazon.fr/gp/product/B0716T7R1Y/

ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o00_s00?ie=UTF8&psc=1

- Manuel de référence du MFR522: https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MFRC522.pdf
- *Layout* d'une carte à puce cliente classique (l'image est lourde): https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/MiFare_Byte_Layout.png
- Tuto haut-niveau concis, avec une petite lib' en Python (attention à ne pas copier bêtement le code de la lib'...): http://espace-raspberry-francais.fr/Composants/Module-RFID-RC522-Raspberry-Francais/

ISO 14443

- La partie protocolaire (4ème et dernière partie du standard); attention, il s'agit d'une vieille version (2001), mais l'essentiel reste le même: http://www.emutag.com/iso/14443-4.pdf
- La phase d'entrée en communication avec un tag, succinctement: https://www.redfroggy.fr/le-nfc-et-la-norme-isoiec-14443/
- Vue schématique de la mémoire d'une carte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/MiFare_Byte_Layout.png

API regmap

- La série de patchs originelle qui a amené l'API, et l'explication de pourquoi elle avait un intérêt: https://lwn.net/Articles/451789/
- Un article introductif (et bien plus exhaustif que ce dont vous avez besoin) à cette API: https://opensourceforu.com/2017/01/regmap-reducing-redundancy-linux-code/ (manifestement copié-collé du livre de John Madieu, "*Linux Device Drivers Development*", où j'ai moi-même découvert l'API il y a quelques semaines)

Raspberry Pi

- Compiler un kernel Linux pour Raspberry Pi: https://www.raspberrypi.org/documentation/linux/kernel/building.md
- *Pinout*: https://fr.pinout.xyz/pinout/spi