

# Rapport Final - Conception Circuit Numérique

Tony PEAUT & Nolan BUCHET

Novembre 2025

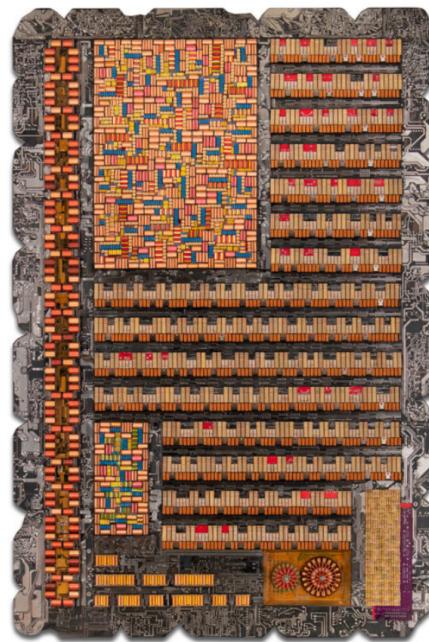


**POLYTECH<sup>®</sup>**  
NANTES



**Pôle Sciences et technologie  
Nantes Université**

## Recepteur de Transmission LIN



## Table des matières

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduction</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Protocole LIN</b>  | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>Cahier des Charges</b>   | <b>7</b>  |
| <b>4</b> | <b>Description des différentes spécifications définies en travaux dirigés</b>             | <b>10</b> |
| 4.1      | Interface Microprocesseur . . . . .   | 10        |
| 4.2      | Bloc Réception de Trame LIN . . . . .   | 11        |
| 4.3      | Mémoire FIFO . . . . .  | 11        |
| 4.4      | Registre d'État . . . . .   | 11        |
| <b>5</b> | <b>Description et justification de la structure fonctionnelle</b>                         | <b>12</b> |
| <b>6</b> | <b>Description et justification de la solution architecturale obtenue pour le circuit</b> | <b>15</b> |
| 6.1      | Horloge . . . . .   | 15        |
| 6.2      | Architecture de la Réception de Trame . . . . .   | 15        |
| 6.3      | Architecture de l'Interface Microprocesseur . . . . .                                     | 18        |
| 6.4      | Architecture de la Mémoire FIFO . . . . .   | 19        |
| 6.5      | Implémentation du Registre d'État . . . . .   | 20        |
| <b>7</b> | <b>Présentation du fonctionnement des fonctions</b>                                       | <b>21</b> |
| 7.1      | Interface MicroProcesseur . . . . .   | 21        |
| 7.1.1    | Synchronisation des Entrées . . . . .   | 21        |
| 7.1.2    | Réseau Combinatoire de Sortie . . . . .   | 21        |
| 7.1.3    | Réseau Combinatoire d'Entrée . . . . .  | 22        |
| 7.1.4    | Réseau Synchronisé de Sortie . . . . .  | 23        |
| 7.2      | Interface de Réception LIN . . . . .  | 23        |
| 7.2.1    | Partie opérative . . . . .  | 24        |
| 7.2.2    | Partie Commande . . . . .   | 26        |
| 7.3      | FIFO . . . . .  | 35        |
| 7.4      | Etat Interne . . . . .  | 35        |
| <b>8</b> | <b>Simulation des fonctions</b>   | <b>38</b> |
| 8.1      | Interface Microprocesseur . . . . .   | 38        |
| 8.1.1    | Déclarations et signaux . . . . .   | 38        |
| 8.1.2    | Instanciation du composant testé . . . . .  | 38        |
| 8.1.3    | Environnement de test . . . . .   | 38        |
| 8.1.4    | Stimuli supplémentaires . . . . .   | 39        |
| 8.1.5    | Analyse du chronogramme de simulation . . . . .   | 39        |
| 8.2      | Interface Reception LIN . . . . .   | 40        |
| 8.2.1    | Déclarations et signaux . . . . .   | 40        |
| 8.2.2    | Instanciation du composant testé . . . . .  | 40        |
| 8.2.3    | Environnement de test . . . . .   | 40        |
| 8.2.4    | Stimuli supplémentaires . . . . .   | 40        |
| 8.2.5    | Analyse du chronogramme de simulation . . . . .   | 40        |
| <b>9</b> | <b>Synthèse des fonctions</b>   | <b>41</b> |
| 9.1      | Interface Microprocesseur . . . . .   | 41        |

---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>10 Routages des Fonctions</b>                  | <b>44</b> |
| 10.1 Interface Microprocesseur . . . . .          | 44        |
| <b>11 Conclusion</b>                              | <b>48</b> |
| <b>12 Annexes</b>                                 | <b>49</b> |
| 12.1 Testbench InterfaceMicroprocesseur . . . . . | 49        |

## 1 Introduction

Le projet réalisé dans le cadre de l'enseignement de Conception de Circuits numériques a pour objectif de développer des compétences essentielles à la conception de systèmes embarqués, notamment la mise au point d'un circuit utilisant un composant logique programmable.

L'architecture électronique d'un véhicule repose sur une organisation de calculateurs distribués. L'exemple retenu s'inspire du fonctionnement d'un calculateur embarqué dans la portière d'une automobile, chargé de la gestion des rétroviseurs et des vitres électriques.

Dans ce contexte, deux sous-ensembles sont distingués :

- un sous-ensemble de supervision, qui génère les commandes pour les moteurs des rétroviseurs et des vitres électriques,
- un sous-ensemble d'interface, assurant la communication entre le sous-ensemble de supervision et les autres calculateurs du véhicule.

Ce rapport se concentre exclusivement sur ce second sous-ensemble, l'interface microprocesseur, afin d'étudier son rôle et sa conception.

L'un des objectifs principaux est d'appréhender la conception du circuit via la méthode MCSE (Méthode de Conception de Systèmes Électroniques), en mettant l'accent sur les étapes de spécifications et de conception. Le déroulement du rapport suit la logique du diagramme en Y.

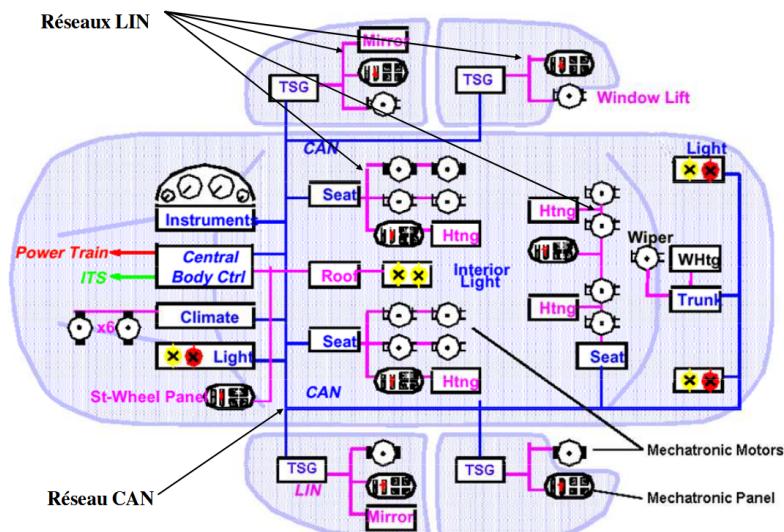


FIGURE 1 – Exemple d'architecture d'un réseau dans un véhicule

## 2 Protocole LIN

### Architecture

Le bus LIN est un système *mono-maître et multi-esclaves*. Un seul maître initie toutes les communications, ce qui rend inutile toute fonction d'arbitrage. Le nombre d'esclaves n'est pas limité par la norme mais dépend des contraintes électriques. L'architecture est dite *flexible*, car on peut ajouter des noeuds esclaves sans modifier les noeuds existants.

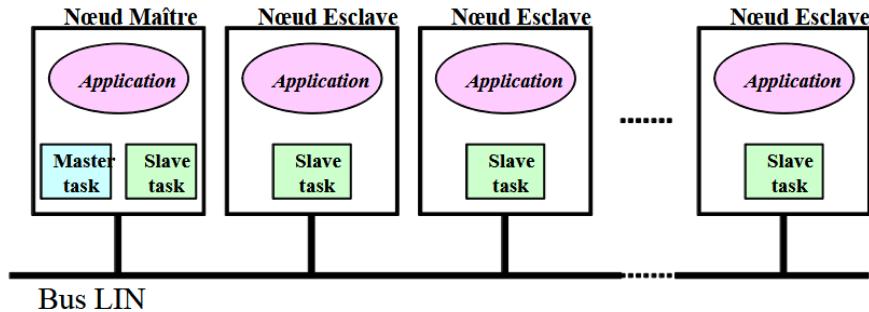


FIGURE 2 – Exemple d'architecture LIN

### Connexion

Le bus est constitué d'une *seule ligne* reliée à chaque noeud par une sortie à collecteur ouvert. Le maître utilise une résistance de tirage de  $1\text{ k}\Omega$ , tandis que chaque esclave utilise  $30\text{ k}\Omega$ . La ligne est au niveau *récessif* (1) lorsqu'aucun noeud ne force l'état, et au niveau *dominant* (0) dès qu'au moins un noeud impose ce niveau.

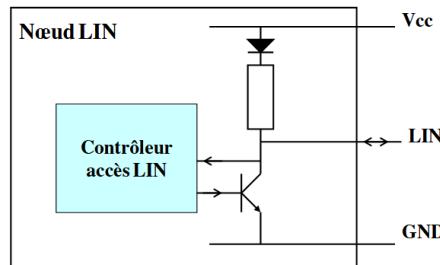


FIGURE 3 – Connexion physique d'un noeud à la ligne LIN

### Vitesse de transmission

Le débit varie de 1 kbit/s à 20 kbit/s, fixé pour une architecture donnée. Trois vitesses sont recommandées :

- **Lente** : 2400 bit/s,
- **Moyenne** : 9600 bit/s,
- **Rapide** : 19200 bit/s.

### Communications et trames

Les messages LIN sont composés de plusieurs champs :

- *Synchronisation Break* : marque le début du message,

- *Synchronisation Field* : alignement des horloges (valeur 0x55),
- *Identification Field* : contenu et longueur des données, avec contrôle de parité,
- *Data Field* : octets d'information transmis du LSB vers le MSB,
- *Checksum Field* : somme de contrôle des données (modulo 256 inversée).

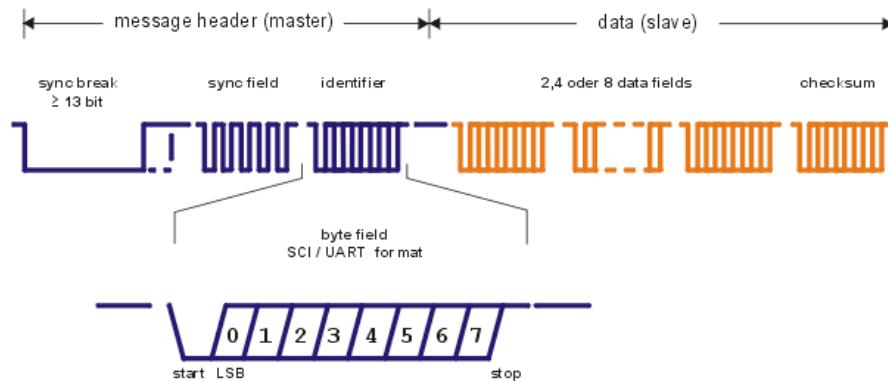


FIGURE 4 – Type de Trame Protocol LIN

Une communication peut être de deux types :

- **Écriture** : le maître envoie l'intégralité du message,
- **Lecture** : le maître envoie seulement l'entête, puis reçoit la réponse de l'esclave.

### 3 Cahier des Charges

Le projet se concentre sur une partie restreinte du récepteur LIN, uniquement pour la réception de trames de type « **écriture** », avec une **entrée LIN unique** et une vitesse fixée à 19 200 bit/s. La distinction maître/esclave et la connexion physique complète ne sont pas traitées.

#### Limitations et simplifications :

- Pas de gestion de perte d'octets,
- Vérification des bits start/stop par un seul échantillon,
- Pas de contrôle de parité ni de vérification du checksum.

#### Fonctionnalités attendues :

- Conversion série → parallèle (données de 8 bits) pour un microprocesseur,
- Possibilité de **filtrer les messages** grâce à un registre de comparaison **SelAddr** (8 bits),
- Signalisation de fin de réception (**M\_Received**) uniquement si l'identifiant reçu correspond à **SelAddr**,
- Réinitialisation des compteurs et effacement des messages non valides.

#### Gestion des messages :

- Un seul message peut être stocké à la fois (FIFO),
- Les octets doivent être accessibles dans leur ordre d'arrivée, même si le message est encore en cours de réception,
- Tous les octets doivent être mémorisés, indépendamment du filtrage,
- Le récepteur doit déterminer la fin du message et l'indiquer au microprocesseur.

#### État du récepteur :

Accessible par registre ( ETAT ) à tout moment, il doit indiquer :

- si un message a été reçu (après filtrage),
- le nombre d'octets reçus,
- les erreurs simples de réception (bits START/STOP, durée du *synchro break*).

Après lecture du registre d'état, les champs sont réinitialisés (sauf le compteur d'octets reçus).

#### Contraintes supplémentaires :

- Interface physique avec le microprocesseur imposée,
- Caractéristiques fonctionnelles, physiques et temporelles définies,
- Temps d'échanges précisés pour assurer la compatibilité avec l'environnement.

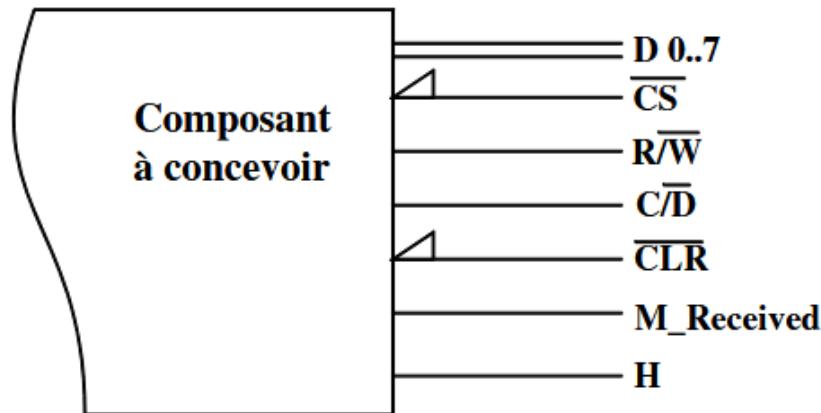


FIGURE 5 – Interface microprocesseur associée au circuit à concevoir

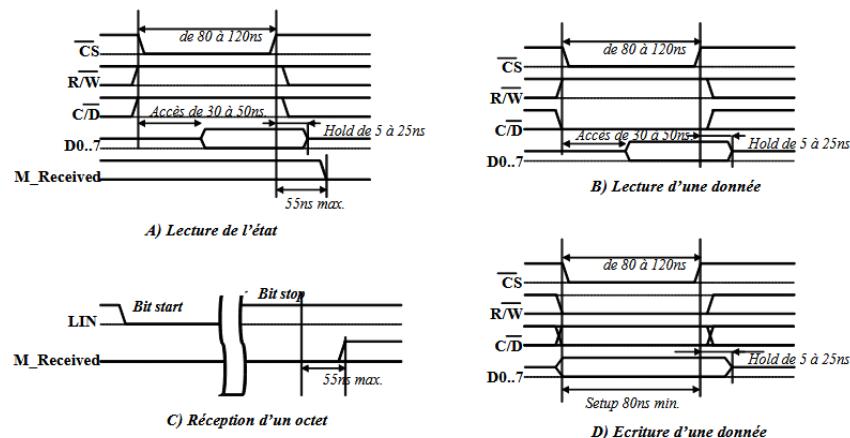


FIGURE 6 – Chronogrammes des échanges entre le circuit et son environnement

Ces figures illustrent les interfaces et les chronogrammes des échanges entre le circuit à concevoir et son environnement, mettant en évidence les interactions avec le microprocesseur et les timings associés.

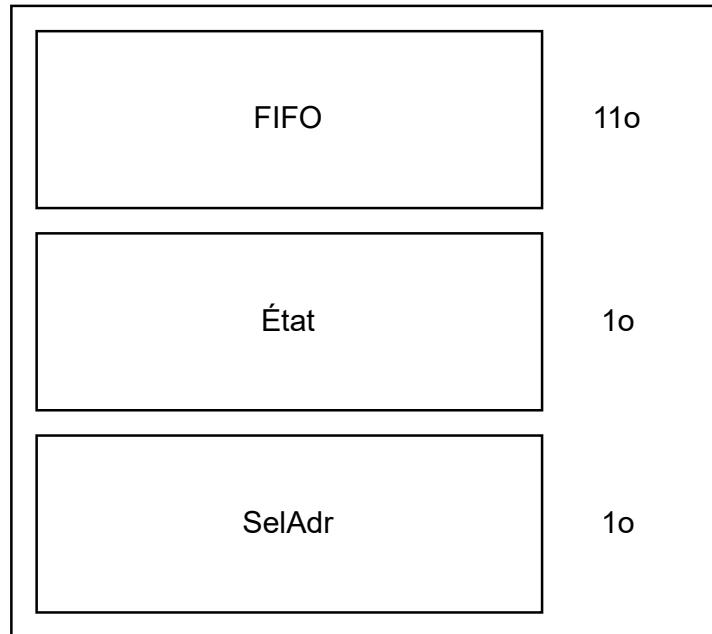


FIGURE 7 – Schema Conception Registre interne Système

Ce schéma détaille la conception des registres internes du système, incluant les registres de données, d'état et de sélection d'adresse.

## 4 Description des différentes spécifications définies en travaux dirigés

### Objectif

Les spécifications ont pour objectif de définir le comportement attendu du système, c'est-à-dire **ce que le circuit doit faire** en réponse au cahier des charges. Elles constituent une description **fonctionnelle** du système, exprimée du point de vue de son **environnement** — c'est-à-dire de tout ce qui interagit avec lui, sans se soucier de son implémentation interne.

Cette phase correspond au **niveau de spécification fonctionnelle** dans le diagramme en Y. Elle adopte une approche **boîte noire**, centrée sur les entrées et sorties observables, indépendamment de toute considération technologique (langage, type logique, fréquence, etc.).

Le cahier des charges indique que le circuit doit pouvoir **communiquer à la fois avec le système de trame LIN et avec un microcontrôleur**. Afin de clarifier les fonctions du système, nous avons choisi de le **décomposer en deux sous-blocs principaux** :

- un bloc de **réception de trame LIN**, chargé de décoder et de stocker les données reçues ;
- un bloc d'**interface microprocesseur**, permettant l'échange de données et de signaux de contrôle avec le microcontrôleur.

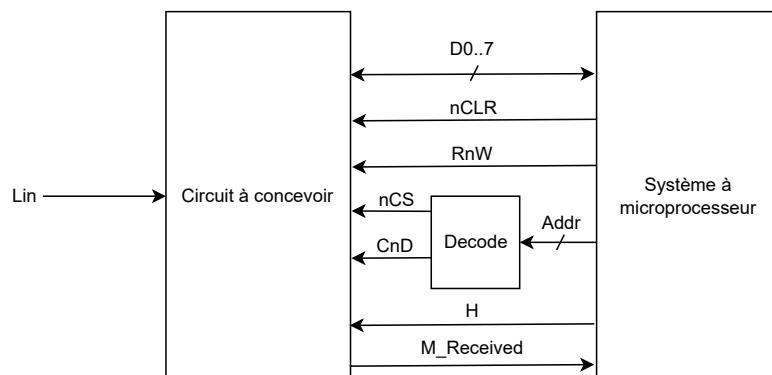


FIGURE 8 – Description fonctionnelle du circuit à concevoir

### 4.1 Interface Microprocesseur

Ce sous-système permet la communication entre le circuit et le microprocesseur. Les signaux décrits ici représentent les **flux d'informations échangés** (données, commandes, synchronisation, validation), sans spécifier leur codage logique ni leur type de signal électrique.

| Signal | Sens           | Nature          | Rôle fonctionnel   |
|--------|----------------|-----------------|--|
| D_BUS  | Bidirectionnel | Données         | Bus de transfert de données entre le microprocesseur et le circuit |
|        | Entrée         | Commande        | Sélection du circuit (validation de la communication)              |
|        | Entrée         | Commande        | Indique une opération de lecture ou d'écriture                     |
|        | Entrée         | Commande        | Sélectionne entre registre de commande et registre de données      |
|        | Entrée         | Commande        | Réinitialisation du système  |
|        | Sortie         | Indicateur      | Signal indiquant la fin de réception d'une trame                   |
| CLK    | Entrée         | Synchronisation | Signal d'horloge du système  |

## 4.2 Bloc Réception de Trame LIN

Ce bloc assure le **décodage séquentiel** des trames LIN reçues. Il analyse le flux série provenant du bus LIN et extrait les octets de données en respectant la structure du protocole.

| Signal   | Sens   | Nature     | Rôle fonctionnel                                |
|----------|--------|------------|---|
| LIN_RX   | Entrée | Données    | Flux série reçu depuis le bus LIN               |
| DATA_OUT | Sortie | Données    | Octet de données extrait et validé              |
| VALID    | Sortie | Indicateur | Indique la disponibilité d'un nouvel octet reçu |

## 4.3 Mémoire FIFO

Ce bloc a pour rôle de **stocker temporairement les octets reçus** avant leur transfert vers le microprocesseur. Il fonctionne selon le principe « premier entré, premier sorti ».

| Signal    | Sens   | Nature     | Rôle fonctionnel                                |
|-----------|--------|------------|---|
| DATA_IN   | Entrée | Données    | Octet à mémoriser dans la file FIFO             |
| DATA_OUT  | Sortie | Données    | Octet extrait de la file FIFO                   |
| WRITE_REQ | Entrée | Commande   | Requête d'écriture (nouvelle donnée reçue)      |
| READ_REQ  | Entrée | Commande   | Requête de lecture (demande du microprocesseur) |
| EMPTY     | Sortie | Indicateur | Indique que la FIFO est vide                    |
| FULL      | Sortie | Indicateur | Indique que la FIFO est pleine                  |

## 4.4 Registre d'État

Le registre d'état fournit une **synthèse du déroulement de la réception**. Il conserve les informations nécessaires à la supervision ou au diagnostic (erreurs détectées, nombre d'octets reçus, trame complète, etc.).

| Signal      | Sens   | Nature     | Rôle fonctionnel                    |
|-------------|--------|------------|-------------------------------------|
| ERR_START   | Entrée | Indicateur | Erreur sur le bit de début de trame |
| ERR_STOP    | Entrée | Indicateur | Erreur sur le bit de fin de trame   |
| ERR_SYNC    | Entrée | Indicateur | Erreur de synchronisation           |
| BYTE_COUNT  | Entrée | Données    | Nombre d'octets reçus dans la trame |
| FRAME_VALID | Entrée | Indicateur | Validation de la réception complète |
| STATE_OUT   | Sortie | Données    | Octet d'état global de la réception |

## 5 Description et justification de la structure fonctionnelle

### Objectifs

Cette section présente l'organisation fonctionnelle du système et la répartition des rôles entre les différents sous-ensembles. Chaque bloc (réception de trame, mémoire FIFO, registre d'état, interface microprocesseur) est décrit dans sa fonction et ses interactions avec les autres. L'objectif est de montrer comment les fonctionnalités définies lors de la spécification sont structurées logiquement pour répondre au cahier des charges, tout en restant indépendantes de toute technologie d'implémentation.

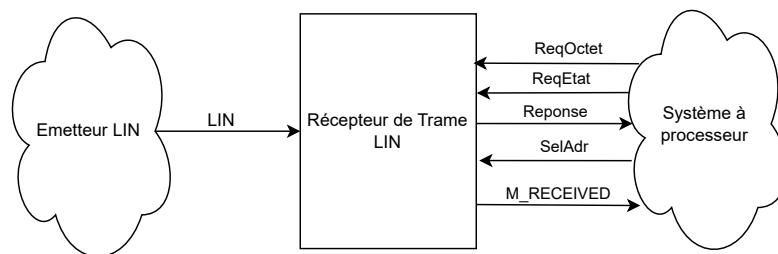


FIGURE 9 – Représentation fonctionnelle des échanges entre l'émetteur LIN et le système à processeur

À ce stade, le système est structuré autour de deux blocs principaux : l'interface microprocesseur et la réception des trames LIN. Ces deux blocs communiquent via un bloc d'échange chargé d'assurer la cohérence des transferts d'informations et la coordination entre les différents registres internes.

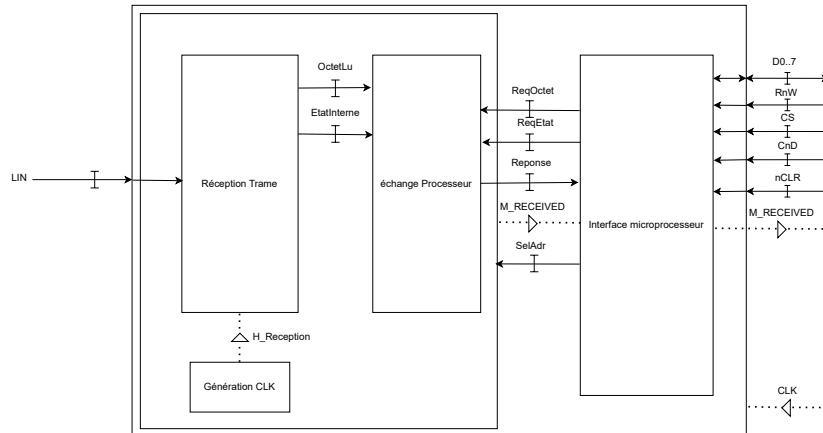


FIGURE 10 – Structure fonctionnelle initiale du circuit après introduction des interfaces

Le comportement général peut être représenté par un automate de communication illustrant les échanges avec le processeur :

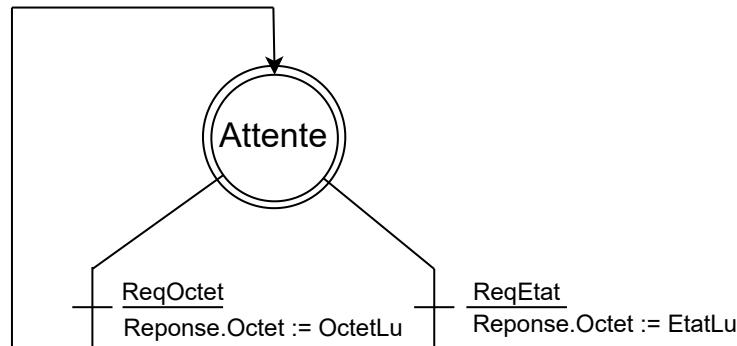


FIGURE 11 – Échanges fonctionnels entre le système et le processeur

Lors de la phase d'analyse, il est apparu que le bloc d'échange microprocesseur pouvait être intégré directement à l'interface microprocesseur. Cette simplification permet de réduire le nombre de signaux intermédiaires et d'améliorer la clarté fonctionnelle du système.

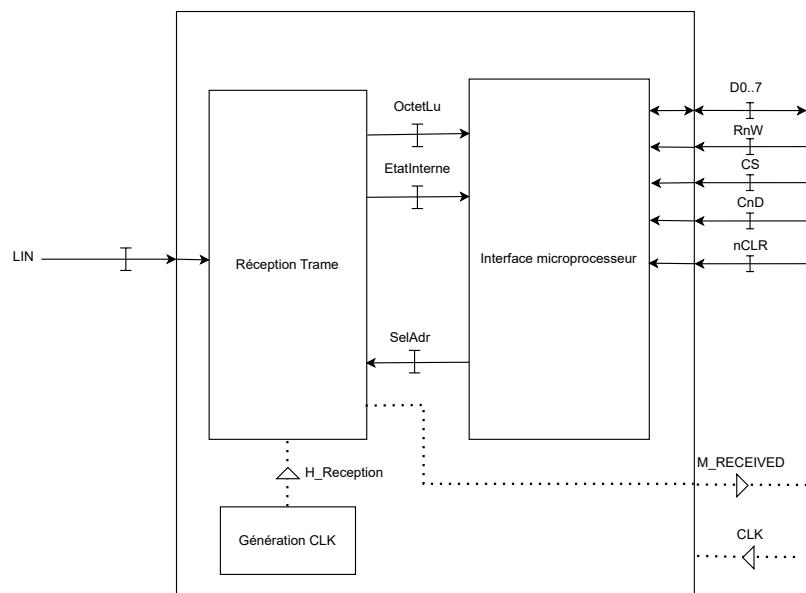


FIGURE 12 – Architecture fonctionnelle optimisée du système de réception de trame LIN

Enfin, deux registres internes ont été ajoutés :

- un registre de stockage des données de trame (FIFO) ;
- un registre d'état interne (ETAT), contenant les informations de suivi et d'erreur.

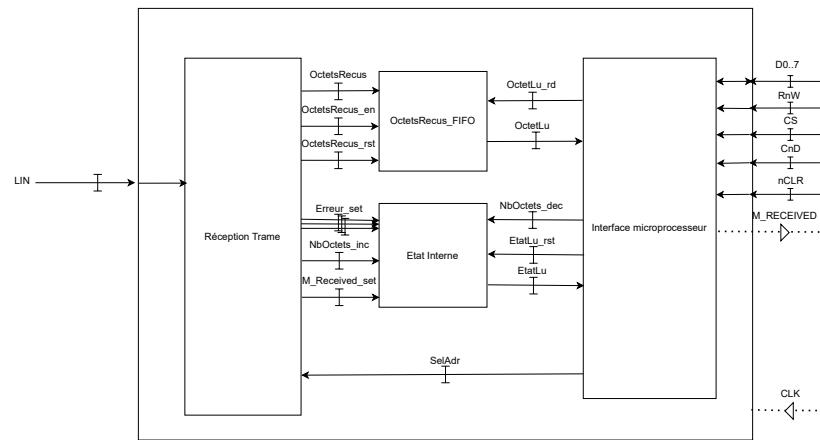


FIGURE 13 – Description fonctionnelle finale du circuit complet

Le schéma global ci-dessus illustre les interactions fonctionnelles entre les différents blocs du système. Les échanges sont exprimés en termes de flux d'informations (données, ordres, signaux de contrôle), sans référence à la nature physique ou logique de ces signaux.

### Bloc FIFO

| Signal                | Sens   | Rôle fonctionnel   |
|-----------------------|--------|--|
| Écriture_Octet        | Entrée | Déclenche l'enregistrement d'un octet dans la mémoire FIFO.          |
| Réinitialisation_FIFO | Entrée | Vide la mémoire FIFO et remet à zéro les compteurs internes.         |
| Lecture_Octet         | Entrée | Permet l'accès séquentiel aux données stockées dans la mémoire FIFO. |

Ces signaux assurent la gestion du flux d'informations entre la réception de trame et le microprocesseur. Ils garantissent la synchronisation et la fiabilité du stockage des données reçues, en évitant toute perte ou chevauchement.

### Bloc ÉTAT

| Signal                    | Sens   | Rôle fonctionnel   |
|---------------------------|--------|--|
| Réinitialisation_Compteur | Entrée | Réinitialise le nombre d'octets reçus.                         |
| Décrémentation_Compteur   | Entrée | Indique qu'un octet a été lu depuis la FIFO.                   |
| Réinitialisation_Etat     | Entrée | Remet à zéro les indicateurs d'état et d'erreur après lecture. |

Ces signaux permettent le suivi interne du processus de réception et la gestion des informations d'erreur. Ils facilitent la communication avec le microprocesseur tout en assurant une supervision fiable et indépendante de toute implémentation matérielle.

## 6 Description et justification de la solution architecturale obtenue pour le circuit

### Objectifs

Une fois la description fonctionnelle définie, la conception passe au **niveau architectural** du diagramme en Y. Cette phase vise à transformer la description fonctionnelle en une organisation interne du système : elle introduit les interfaces physiques, identifie les ressources de stockage et de traitement, et établit les principes de commande et de transfert des données.

Cette description reste indépendante de la technologie d'implémentation (langage HDL, logique, FPGA, etc.) mais tient compte des contraintes structurelles et temporelles du système. Elle correspond au **niveau Registre-Transfert (RT)**.

- Introduction et définition des interfaces physiques
- Identification des ressources logiques (registres, compteurs, opérateurs)
- Organisation structurelle du circuit au niveau RT
- Description du comportement séquentiel et des signaux de commande

### 6.1 Horloge

La gestion de l'horloge constitue un élément fondamental de la synchronisation interne du système.

Le rapport entre la période du bit LIN et celle du processeur est défini par :

$$N = \frac{T_{\text{bit}}}{T_{\text{processeur}}}$$

Dans notre cas, le cahier des charges spécifie un cycle de lecture/écriture moyen de 100 ns et une vitesse de transmission de 19 200 bit/s, soit :

$$N = \frac{52 \mu s}{100 ns} = 520$$

Pour notre implémentation, nous choisissons  $N = 2048$ , une valeur supérieure qui facilite la synchronisation interne et la gestion des transitions logiques.

### 6.2 Architecture de la Réception de Trame

Ce bloc correspond à la partie du système chargée de la réception et du décodage des trames LIN.

| Signal      | Sens   | Nature     | Rôle fonctionnel                           |
|-------------|--------|------------|--|
| LIN         | Entrée | Données    | Signal série reçu depuis le bus LIN        |
| SEL_ADR     | Entrée | Données    | Sélection de l'adresse du composant        |
| DATA_OUT    | Sortie | Données    | Octet de données reçu                      |
| DATA_WR     | Sortie | Commande   | Validation d'écriture vers la mémoire FIFO |
| DATA_RST    | Sortie | Commande   | Réinitialisation des données reçues        |
| ERR_START   | Sortie | Indicateur | Erreur sur bit de start                    |
| ERR_STOP    | Sortie | Indicateur | Erreur sur bit de stop                     |
| ERR_SYNC    | Sortie | Indicateur | Erreur de synchronisation (Synchro Break)  |
| INC_COUNT   | Sortie | Commande   | Incrémantation du compteur d'octets reçus  |
| FRAME_VALID | Sortie | Indicateur | Trame reçue et validée                     |
| COUNT_RST   | Sortie | Commande   | Réinitialisation du compteur d'octets      |

Le bloc de réception repose sur une **machine séquentielle** structurée en deux sous-parties :

- une **unité opérative** regroupant les registres, compteurs et multiplexeurs ;
- une **unité de commande** gérant la séquence d'opérations et les signaux de contrôle.

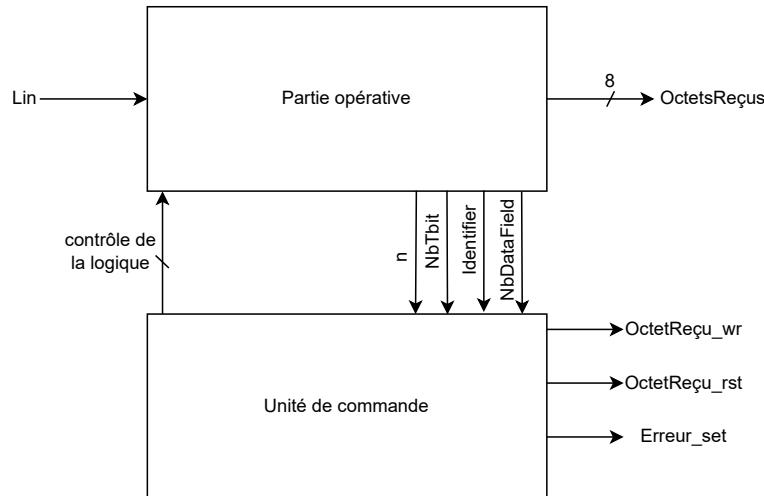


FIGURE 14 – Organisation séquentielle du bloc de réception de trame

Les principales variables internes assurent la gestion du comptage, du stockage et du décalage des bits reçus :

| Variable    | Taille (bit) | Opération   | Opérateur            | Signaux de contrôle                   |
|-------------|--------------|---|----------------------|---------------------------------------|
| n           | $\log_2(N)$  | décrémentation, initialisation à $N - 1$ ou $N/2$ | décompteur, Mux      | n_Load, n_En, n_Select                |
| NbTbit      | 4            | décrémentation, initialisation à 13 ou 8          | décompteur, Mux      | NBTbit_Load, NBTbit_en, NBTbit_select |
| Identifier  | 8            | sauvegarde  | registre 8 bits      | Identifier_en                         |
| OctetsReçus | 8            | décalage bit à bit                                | registre à décalage  | OctetReçu_en                          |
| NbDataField | 3            | décrémentation, initialisation à 1, 3 ou 7        | décompteur, décodeur | NBdatafield_en, NBdatafield_load      |

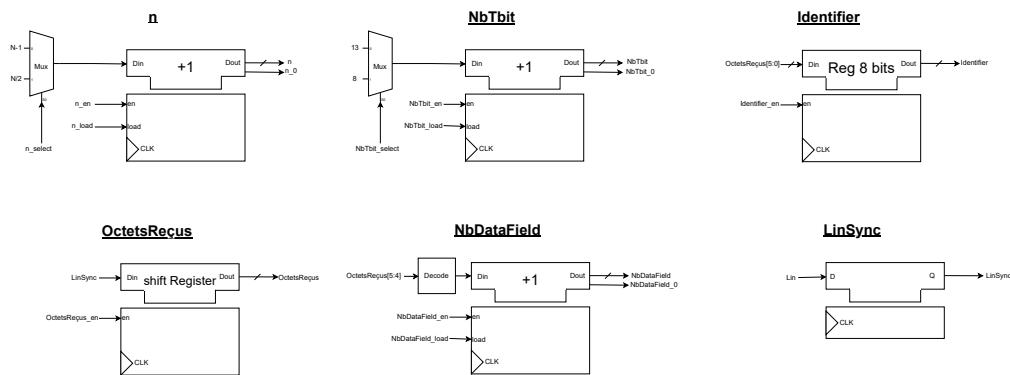


FIGURE 15 – Structure opérative du bloc de réception de trame

La partie commande est implémentée sous forme d'un **automate séquentiel**, représentant les différents états de réception d'une trame LIN.

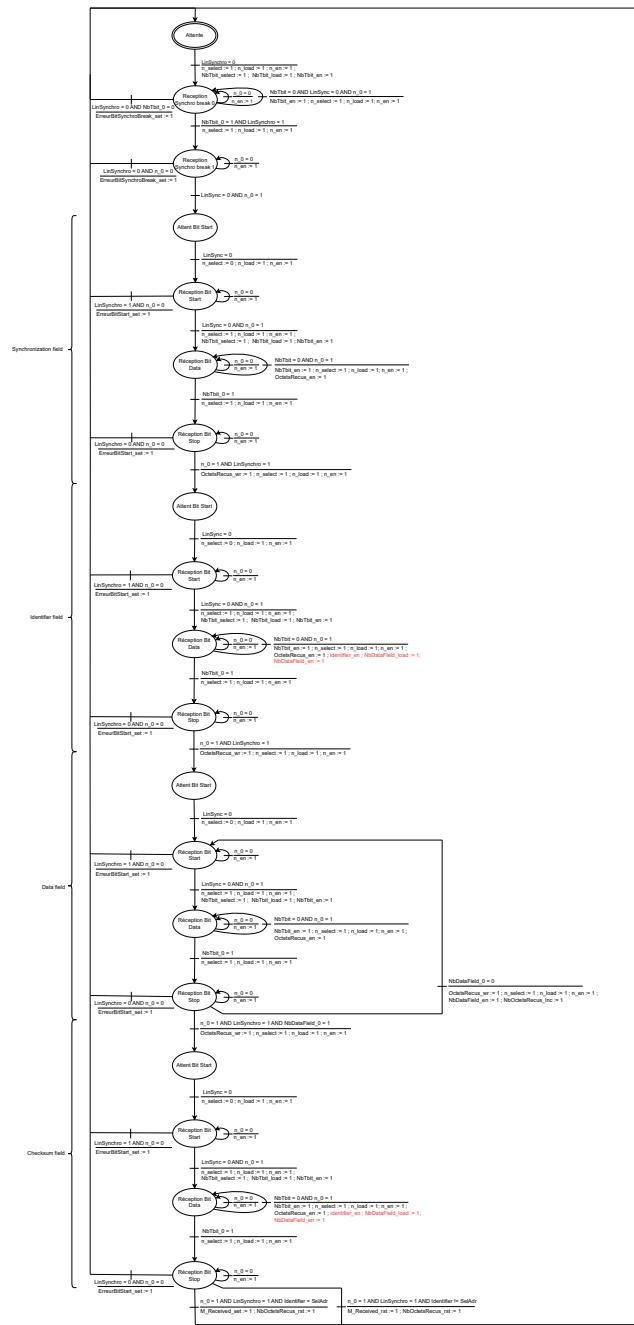


FIGURE 16 – Automate de réception de trame LIN

## Description de l'automate

L'automate décrit la séquence d'opérations depuis l'attente du signal de début jusqu'à la validation de la trame complète. Il gère successivement les phases suivantes :

- Attente et détection de break de synchronisation
- Réception du champ de synchronisation

- Réception de l'identifiant et des données

- Vérification du checksum et validation de la trame

Les erreurs de synchronisation ou de bits sont détectées via des indicateurs spécifiques (erreurs de start, stop, ou synchro). Ce fonctionnement correspond à une **machine de Mealy**, dans laquelle les sorties dépendent à la fois des états internes et des entrées instantanées.

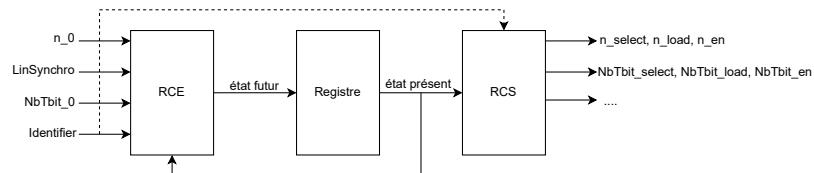


FIGURE 17 – Machine de Mealy – Unité de commande de réception de trame

### 6.3 Architecture de l'Interface Microprocesseur

Ce bloc gère les échanges entre le microprocesseur et les registres internes du système. Il coordonne la lecture et l'écriture des données, ainsi que la signalisation de fin de réception.

| Signal         | Sens           | Nature          | Rôle fonctionnel                     |
|----------------|----------------|-----------------|--------------------------------------|
| D_BUS          | Bidirectionnel | Données         | Bus de communication principal       |
| CS             | Entrée         | Commande        | Sélection du circuit                 |
| RW             | Entrée         | Commande        | Lecture ou écriture                  |
| CD             | Entrée         | Commande        | Sélection entre commande et données  |
| RESET          | Entrée         | Commande        | Réinitialisation du système          |
| FRAME RECEIVED | Sortie         | Indicateur      | Signal de fin de réception           |
| CLK            | Entrée         | Synchronisation | Horloge du système                   |
| STATE_IN       | Entrée         | Données         | État interne du système              |
| DEC_COUNT      | Sortie         | Commande        | Décrémentation du compteur FIFO      |
| STATE_RST      | Sortie         | Commande        | Réinitialisation de l'état           |
| DATA_IN        | Entrée         | Données         | Donnée issue de la FIFO              |
| DATA_SEL       | Sortie         | Commande        | Sélection du type de donnée affichée |

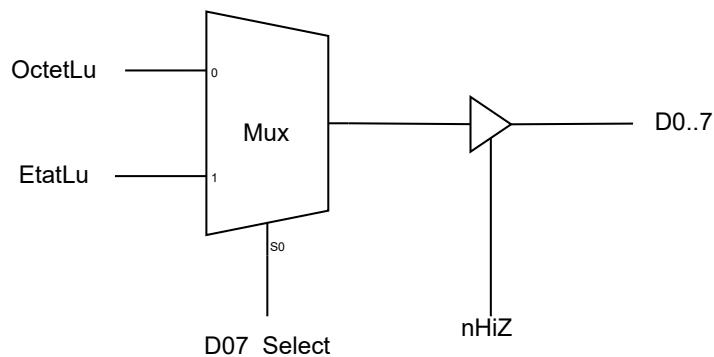


FIGURE 18 – Structure opérative de l'interface microprocesseur

L'unité de commande correspondante est également décrite par un automate de type Mealy :

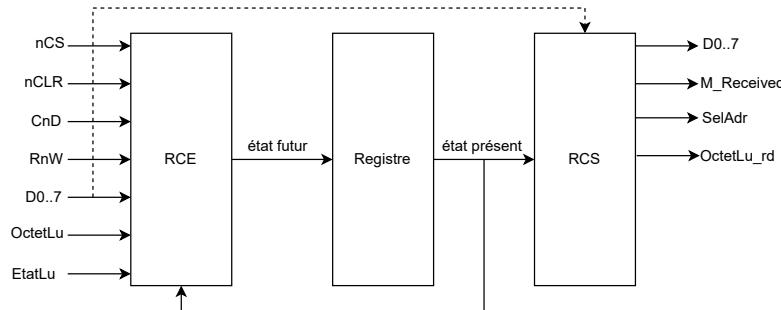


FIGURE 19 – Machine de Mealy – Interface micropuce

## 6.4 Architecture de la Mémoire FIFO

La FIFO assure le stockage temporaire des octets reçus. Étant de complexité limitée, elle est décrite directement sous forme structurelle.

| Signal   | Sens   | Nature   | Rôle fonctionnel            |
|----------|--------|----------|-----------------------------|
| DATA_IN  | Entrée | Données  | Données reçues à stocker    |
| WRITE    | Entrée | Commande | Validation d'écriture       |
| RESET    | Entrée | Commande | Réinitialisation du contenu |
| DATA_OUT | Sortie | Données  | Données lues                |
| READ     | Entrée | Commande | Validation de lecture       |

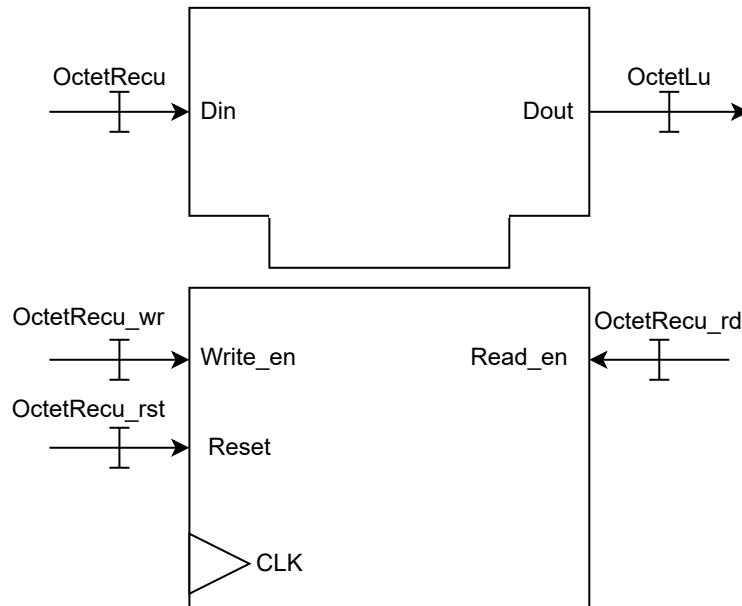


FIGURE 20 – Implémentation structurelle de la mémoire FIFO

## 6.5 Implémentation du Registre d'État

Le registre d'état regroupe les informations relatives aux erreurs, au nombre d'octets reçus et à la validation des trames.

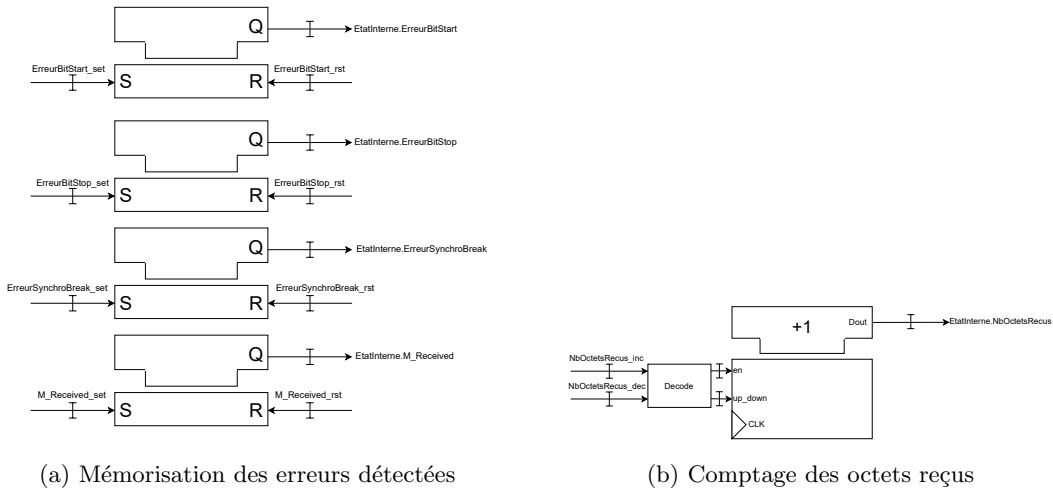


FIGURE 21 – Implémentation structurelle du registre d'état au niveau RT

## 7 Présentation du fonctionnement des fonctions

### 7.1 Interface MicroProcesseur

Dans cette partie, nous avons initié une séance de travaux pratiques pour nous familiariser avec le logiciel HDL Designer. Le programme «Interface Microprocesseur», préalablement implémenté par les enseignants, respecte strictement les données présentées dans le TD et développées dans les sections précédentes du rapport. Nous allons l'étudier en détail afin de démontrer sa correspondance avec le modèle théorique.

Pour rappel, l'interface Microprocesseur a été conçue selon une machine séquentielle, tandis que la partie commande a été développée sur le modèle d'une machine de Mealy. Le code présenté respecte rigoureusement la structure des blocs : réseau combinatoire d'entrée, réseau combinatoire de sortie et registres correspondant à la machine à états.

#### 7.1.1 Synchronisation des Entrées

```

1 InputProc_Synchro :  PROCESS(H, nRST)
2 BEGIN
3   IF (nRST='0') THEN
4     nCS_Synchro <= '1';
5     RnW_Synchro <= '1';
6     CnD_Synchro <= '1';
7     D07_Synchro <= (others => '0');
8   ELSIF (H'EVENT AND H='1') THEN
9     nCS_Synchro <= nCS;
10    RnW_Synchro <= RnW;
11    CnD_Synchro <= CnD;
12    D07_Synchro <= D07;
13  END IF;
14 END PROCESS InputProc_Synchro;

```

Listing 1 – Réseau Combinatoire d'entrée

Ce bloc VHDL gère la synchronisation des signaux provenant du microprocesseur. Le processus `InputProc_Synchro` lit les signaux d'entrée à chaque front montant de l'horloge `H` et les initialise lors de la mise à zéro `nRST`. Les signaux synchronisés (`nCS_Synchro`, `RnW_Synchro`, `CnD_Synchro`, `D07_Synchro`) sont ensuite utilisés par le reste de l'interface.

#### 7.1.2 Réseau Combinatoire de Sortie

```

1 OutputProc_Comb : PROCESS(nCS_Synchro, CnD_Synchro, RnW_Synchro,
2   EtatCourant, OctetLu, EtatLu)
3 BEGIN
4   D07 <= (others => 'Z');
5   OctetLu_RD <= '0';
6   EtatLu_RST <= '0';
7   DecNbOctet <= '0';
8   CASE EtatCourant IS
9     WHEN Attente =>
10       IF (nCS_Synchro='0' AND CnD_Synchro='0' AND RnW_Synchro='1') THEN
11         OctetLu_RD <= '1';
12       END IF;
13     WHEN LectureData =>

```

```

13      D07 <= OctetLu;
14      IF (nCS_Synchro='1') THEN
15          DecNbOctet <= '1';
16      END IF;
17      WHEN LectureEtat =>
18          D07 <= EtatLu;
19          IF (nCS_Synchro='1') THEN
20              EtatLu_RST <= '1';
21          END IF;
22      WHEN EcritureFiltre =>
23      END CASE;
24  END PROCESS OutputProc_Comb;

```

Listing 2 – Réseau Combinatoire de Sortie

Le processus `OutputProc_Comb` contrôle la sortie des données et des états vers le microprocesseur. Il met à jour les signaux `D07`, `OctetLu_RD`, `EstatLu_RST`, `DecNbOctet` en fonction de l'état courant de la machine et des signaux synchronisés d'entrée. La logique combinatoire assure la correspondance entre les actions de lecture/écriture et l'état de la machine.

### 7.1.3 Réseau Combinatoire d'Entrée

```

1 ClockedProc : PROCESS(H, nRST)
2 BEGIN
3     IF (nRST='0') THEN
4         EtatCourant <= Attente;
5     ELSIF (H'EVENT AND H='1') THEN
6         EtatCourant <= EtatSuivant;
7     END IF;
8  END PROCESS ClockedProc;
9
10 NextStateProc : PROCESS(nCS_Synchro, CnD_Synchro, RnW_Synchro,
11                         EtatCourant)
12 BEGIN
13     EtatSuivant <= EtatCourant;
14     CASE EtatCourant IS
15     WHEN Attente =>
16         IF (nCS_Synchro='0' AND CnD_Synchro='0' AND RnW_Synchro='1') THEN
17             EtatSuivant <= LectureData;
18         ELSIF (nCS_Synchro='0' AND CnD_Synchro='1' AND RnW_Synchro='1') THEN
19             EtatSuivant <= LectureEtat;
20         ELSIF (nCS_Synchro='0' AND CnD_Synchro='0' AND RnW_Synchro='0') THEN
21             EtatSuivant <= EcritureFiltre;
22         ELSE
23             EtatSuivant <= Attente;
24         END IF;
25     WHEN LectureData =>
26         IF (nCS_Synchro='1') THEN
27             EtatSuivant <= Attente;
28         ELSE
29             EtatSuivant <= LectureData;
30         END IF;
31     WHEN LectureEtat =>
32         IF (nCS_Synchro='1') THEN
33             EtatSuivant <= Attente;
34         ELSE
35             EtatSuivant <= LectureEtat;

```

```

35      END IF;
36      WHEN EcritureFiltre =>
37          IF (nCS_Synchro='1') THEN
38              EtatSuivant <= Attente;
39          ELSE
40              EtatSuivant <= EcritureFiltre;
41          END IF;
42      END CASE;
43  END PROCESS NextStateProc;

```

Listing 3 – Registres

Les processus `ClockedProc` et `NextStateProc` implémentent la machine séquentielle. `ClockedProc` met à jour l'état courant à chaque front montant de l'horloge et réinitialise l'état au démarrage. `NextStateProc` définit l'état suivant selon les conditions des signaux d'entrée et l'état courant, en suivant la logique de la machine de Mealy.

#### 7.1.4 Réseau Synchronisé de Sortie

```

1 OutputProc_Synchro : PROCESS(H, nCLR)
2 BEGIN
3     IF (nCLR='0') THEN
4         SelAddr <= (others => '0');
5     ELSIF (H'EVENT AND H='1') THEN
6         CASE EtatCourant IS
7             WHEN EcritureFiltre =>
8                 IF (nCS_Synchro='1') THEN
9                     SelAddr <= D07_Synchro;
10                END IF;
11            WHEN OTHERS =>
12                END CASE;
13            END IF;
14        END PROCESS OutputProc_Synchro;
15
16 M_Received <= EtatLu(4);

```

Listing 4 – Réseau Synchronisé de Sortie

Le processus `OutputProc_Synchro` synchronise la sélection d'adresse `SelAddr` avec l'horloge `H`. Il est actif principalement pendant l'état `EcritureFiltre`, assurant que les données de l'entrée `D07_Synchro` sont correctement mémorisées. Le signal `M_Received` est également mis à jour pour refléter l'état du bit correspondant.

## 7.2 Interface de Réception LIN

L'interface de réception LIN a été étudiée sous la forme d'une machine séquentielle, composée d'une partie opérative et d'une partie commande. La partie opérative est développée sous la forme d'un schéma fonctionnel comprenant différents blocs tels que des multiplexeurs et des compteurs/décompteurs. La partie commande, quant à elle, a été modélisée sous la forme d'un automate, traduit en machine de Moore, puis implémenté en VHDL.

Voici un tableau recapitulant les entrées et les sorties du bloc Repetition LIN complet :

| Signaux             | Mode | Type                         | Description                           |
|---------------------|------|------------------------------|---------------------------------------|
| LIN                 | IN   | STD_LOGIC                    | Bus de données d'entrée               |
| SelAddr             | IN   | STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0) | Sélection Address Composant           |
| OctetRecu           | OUT  | STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0) | Bus de données de sortie              |
| OctetRecu_WR        | OUT  | STD_LOGIC                    | Read / Write opération                |
| OctetRecu_RST       | OUT  | STD_LOGIC                    | Réinitialisation des données reçues   |
| Erreur_Start        | OUT  | STD_LOGIC                    | Bit d'erreur de Start                 |
| Erreur_Stop         | OUT  | STD_LOGIC                    | Bit d'erreur de Stop                  |
| Erreur_SynchroBreak | OUT  | STD_LOGIC                    | Bit d'erreur de Synchro Break         |
| IncNbOctet          | OUT  | STD_LOGIC                    | Flag de reception pour lecture        |
| MessageReceived_SET | OUT  | STD_LOGIC                    | Indicateur de trame reçue             |
| NbOctetRecu_RST     | OUT  | STD_LOGIC                    | Réinitialisation du compteur d'octets |

### 7.2.1 Partie opérative

La partie opérative, déjà définie dans la section Description de la solution architecturale, a été reprise sous forme de blocs fonctionnels. Il a simplement été nécessaire de reproduire le schéma global dans HDL Designer, afin d'assurer la cohérence entre la conception théorique et la modélisation pratique.

Le schéma correspondant est présenté ci-dessous :

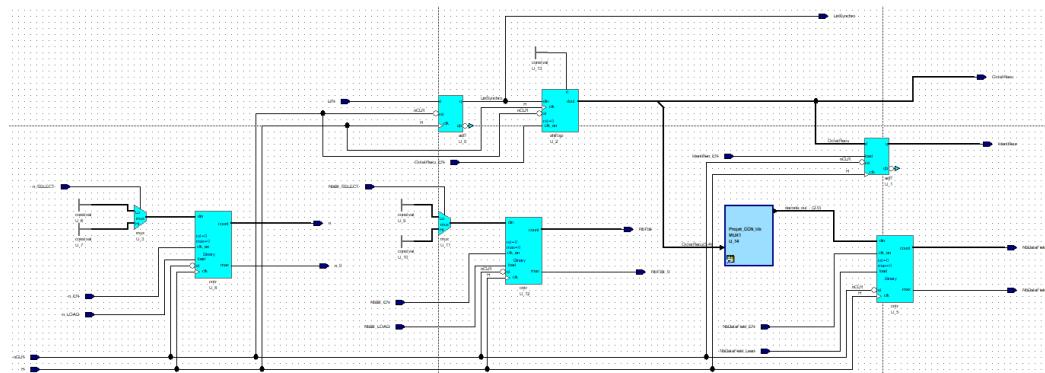


FIGURE 22 – Schéma partie opérative réception LIN

Le décodeur présents avant le décompteurs DataField permet de gérer la valeur chargée dans celui-ci. Voici la table de vérité associée :

| OctetRecu | Decode_OUT |
|-----------|------------|
| 00        | 001        |
| 01        | 001        |
| 10        | 010        |
| 11        | 100        |

Voici aussi le tableau des entrées et sorties de la partie opérative :

| Signaux           | Mode | Type                         | Description  |
|-------------------|------|------------------------------|--|
| H                 | IN   | STD_LOGIC                    | Horloge principale du système.   |
| Identifier        | IN   | STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0) | Identifiant du message reçu à comparer avec l'adresse sélectionnée.    |
| LinSynchro        | IN   | STD_LOGIC                    | Signal de synchronisation de trame LIN.                                |
| NbTbit_0          | IN   | STD_LOGIC                    | Bit de configuration du nombre de bits de trame.                       |
| NbDataField_0     | IN   | STD_LOGIC                    | Bit de configuration du nombre d'octets de données dans le champ Data. |
| SelAdr            | IN   | STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0) | Sélection de l'adresse du composant (comparée à Identifier).           |
| nCLR              | IN   | STD_LOGIC                    | Signal de réinitialisation asynchrone active à l'état bas.             |
| n_0               | IN   | STD_LOGIC                    | Signal de contrôle interne (sélection ou validation).                  |
| Error_Start       | OUT  | STD_LOGIC                    | Bit d'erreur sur le champ Start.                                       |
| Error_Stop        | OUT  | STD_LOGIC                    | Bit d'erreur sur le champ Stop.  |
| Error_Synchro     | OUT  | STD_LOGIC                    | Bit d'erreur de synchronisation (Synchro Break).                       |
| Identifieur_en    | OUT  | STD_LOGIC                    | Validation de l'identifiant reçu.                                      |
| IncNbOctet        | OUT  | STD_LOGIC                    | Incrémentation du compteur d'octets reçus.                             |
| MessageReceiveSet | OUT  | STD_LOGIC                    | Indique qu'une trame complète a été reçue.                             |
| NbDataField_EN    | OUT  | STD_LOGIC                    | Activation du champ de données (Data Field).                           |
| NbDataField_load  | OUT  | STD_LOGIC                    | Chargement du nombre d'octets de données.                              |
| NbOctetReçu_RST   | OUT  | STD_LOGIC                    | Réinitialisation du compteur d'octets reçus.                           |
| OctetReçu_RST     | OUT  | STD_LOGIC                    | Réinitialisation du registre d'octet reçu.                             |
| OctetReçu_WR      | OUT  | STD_LOGIC                    | Signal d'écriture de l'octet reçu.                                     |
| OctetReçu_en      | OUT  | STD_LOGIC                    | Validation du registre d'octet reçu.                                   |
| n_Tbit_Load       | OUT  | STD_LOGIC                    | Chargement du registre associé au Tbit.                                |
| n_Tbit_en         | OUT  | STD_LOGIC                    | Activation du registre Tbit.   |
| n_Tbit_select     | OUT  | STD_LOGIC                    | Sélection de la source ou mode du Tbit.                                |
| n_en              | OUT  | STD_LOGIC                    | Activation du signal ou compteur "n".                                  |
| n_load            | OUT  | STD_LOGIC                    | Chargement de la valeur "n".   |
| n_select          | OUT  | STD_LOGIC                    | Sélection de la source du signal "n".                                  |

### 7.2.2 Partie Commande

La partie commande consiste principalement à traduire l'automate présenté en figure ?? en **code VHDL**. Cette étape reste relativement simple, car elle repose sur la création de **trois processus principaux** :

1. **Le réseau combinatoire d'entrée**, chargé de déterminer les *états futurs* de l'automate en fonction des *états présents* et des *signaux d'entrée*.
2. **Le réseau de registres**, synchronisé sur l'horloge, permettant de *mémoriser les états* et d'assurer la transition entre les *états présents* et les *états futurs*.
3. **Le réseau combinatoire de sortie**, qui met à jour les *signaux de sortie* en fonction de l'état courant de l'automate.

Voici le code suivant qui permet de traduire l'automate :

```

1 -- Etat de la machine
2 type CFM is (
3     R_BRK_0, R_BRK_1,                      -- Reception Break
4     SYN_A, SYN_RST, SYN_RD, SYN_RSP,        -- Synchro
5     IDN_A, IDN_RST, IDN_RD, IDN_RSP,        -- Identifier
6     DAT_A, DAT_RST, DAT_RD, DAT_RSP,        -- Datafield
7     CHK_A, CHK_RST, CHK_RD, CHK_RSP,        -- Checksum
8     REPOS                                     -- Repos
9 );

```

Listing 5 – Déclaration des états

Dans une première étape, nous déclarons les différents états de l'automate sous la forme d'un type énuméré nommé CFM. Chaque état correspond à une étape spécifique du processus de réception LIN, facilitant ainsi la gestion des transitions et des actions associées à chaque état.

```

1 -- Register
2 CFM_Register : process(H, nCLR)
3 begin
4     if nCLR = '0' then
5         P_CFM <= REPOS;
6     elsif rising_edge(H) then
7         P_CFM <= N_CFM;
8     end if;
9 end process CFM_Register;

```

Listing 6 – Registres Reception Trame

Dans ce code nous retrouvons la clock qui permet de synchroniser les états de l'automate avec le signal d'horloge H. Le changement d'état se fait au front montant de l'horloge. Le reset asynchrone nCLR permet de remettre l'automate dans son état initial

```

1 -- Reseau Combinatoire d'Entree
2 CFM_RCE : process(P_CFM, H, Identifier, LinSynchro, NbTbit_0,
3                     NbDataField_0, SelAddr, nCLR, n_0)
4 begin
5     -- Next State <= Present State
6     N_CFM <= P_CFM;
7
8     case P_CFM is
9         when REPOS => -- Attente

```

```

9         if LinSynchro = '0' then
10            N_CFM <= R_BRK_0;
11        end if;
12      when R_BRK_0 => -- Synchro Break 0
13        if NbTbit_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
14          N_CFM <= R_BRK_1;
15        elsif NbTbit_0 = '0' AND LinSynchro = '1' then
16          N_CFM <= REPOS;
17        elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '0' AND NbTbit_0 = '0' then
18          N_CFM <= R_BRK_0;
19        elsif NbTbit_0 = '0' AND LinSynchro = '0' AND n_0 = '1' then
20          N_CFM <= R_BRK_0;
21        end if;
22      when R_BRK_1 => -- Synchro Break 1
23        if n_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
24          N_CFM <= SYN_A;
25        elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '0' then
26          N_CFM <= REPOS;
27        elsif n_0 = '0' then
28          N_CFM <= R_BRK_1;
29        end if;
30      when SYN_A => -- Attente bit Start Synchronisation
31        if LinSynchro = '0' then
32          N_CFM <= SYN_RST;
33        end if;
34      when SYN_RST => -- Reception Start Synchronisation
35        if n_0 = '0' AND LinSynchro = '0' then
36          N_CFM <= SYN_RD;
37        elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '1' then
38          N_CFM <= REPOS;
39        elsif n_0 = '0' then
40          N_CFM <= SYN_RST;
41        end if;
42      when SYN_RD => -- Reception Data Synchronisation
43        if NbTbit_0 = '1' then
44          N_CFM <= SYN_RSP;
45        elsif n_0 = '1' AND NbTbit_0 = '0' then
46          N_CFM <= SYN_RD;
47        elsif n_0 = '0' then
48          N_CFM <= SYN_RD;
49        end if;
50      when SYN_RSP => -- Reception bit Stop Synchronisation
51        if n_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
52          N_CFM <= IDN_A;
53        elsif n_0 = '0' AND NbTbit_0 = '0' then
54          N_CFM <= REPOS;
55        elsif n_0 = '0' then
56          N_CFM <= SYN_RSP;
57        end if;
58      when IDN_A => -- Attente bit Start Identifier
59        if LinSynchro = '0' then
60          N_CFM <= IDN_RST;
61        end if;
62      when IDN_RST => -- Reception bit Start Identifier
63        if n_0 = '1' AND LinSynchro = '0' then
64          N_CFM <= IDN_RD;
65        elsif n_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then

```

```

66         N_CFM <= REPOS;
67     elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '0' then
68         N_CFM <= IDN_RST;
69     end if;
70 when IDN_RD => -- Reception Data Identifier
71     if NbTbit_0 = '1' AND n_0 = '1' then
72         N_CFM <= IDN_RSP;
73     elsif n_0 = '0' then
74         N_CFM <= IDN_RD;
75     elsif n_0 = '1' AND NbTbit_0 = '0' then
76         N_CFM <= IDN_RD;
77     end if;
78 when IDN_RSP => -- Reception bit Stop Identifier
79     if n_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
80         N_CFM <= DAT_A;
81     elsif n_0 = '1' AND LinSynchro = '0' then
82         N_CFM <= REPOS;
83     elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '1' then
84         N_CFM <= IDN_RSP;
85     end if;
86 when DAT_A => -- Attente bit Start Datafield
87     if LinSynchro = '0' then
88         N_CFM <= DAT_RST;
89     end if;
90 when DAT_RST => -- Reception bit Start Datafield
91     if n_0 = '1' AND LinSynchro = '0' then
92         N_CFM <= DAT_RD;
93     elsif n_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
94         N_CFM <= REPOS;
95     elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '0' then
96         N_CFM <= DAT_RST;
97     end if;
98 when DAT_RD => -- Reception bit Data Datafield
99     if NbTbit_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
100        N_CFM <= DAT_RSP;
101    elsif n_0 = '1' AND NbTbit_0 = '0' then
102        N_CFM <= DAT_RD;
103    elsif n_0 = '0' then
104        N_CFM <= DAT_RD;
105    end if;
106 when DAT_RSP => -- Reception bit Stop Datafield
107     if n_0 = '0' AND NbDataField_0 = '1' AND LinSynchro = '1'
108     then
109         N_CFM <= CHK_A;
110     elsif NbDataField_0 = '0' AND n_0 = '1' AND LinSynchro = '1'
111     then
112         N_CFM <= DAT_A;
113     elsif n_0 = '1' AND LinSynchro = '0' then
114         N_CFM <= REPOS;
115     elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '1' then
116         N_CFM <= DAT_RSP;
117     end if;
118 when CHK_A => -- Attente bit Start Checksum
119     if LinSynchro = '0' then
120         N_CFM <= CHK_RST;
121     end if;
122 when CHK_RST => -- Reception bit Start Checksum

```

```

121         if n_0 = '1' AND LinSynchro = '0' then
122             N_CFM <= CHK_RD;
123         elsif n_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
124             N_CFM <= REPOS;
125         elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '0' then
126             N_CFM <= CHK_RST;
127         end if;
128     when CHK_RD => -- Reception bit Data Checksum
129         if NbTbit_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
130             N_CFM <= CHK_RSP;
131         elsif n_0 = '1' AND NbTbit_0 = '0' then
132             N_CFM <= CHK_RD;
133         elsif n_0 = '0' then
134             N_CFM <= CHK_RD;
135         end if;
136     when CHK_RSP => -- Reception bit Stop Checksum
137         if n_0 = '1' AND LinSynchro = '1' AND Identifier = SelAddr
138             then
139                 N_CFM <= REPOS; -- Fin de Trame Complete
140             elsif n_0 = '1' AND LinSynchro = '1' AND Identifier /= SelAddr
141                 then
142                     N_CFM <= REPOS;
143                 elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '0' then
144                     N_CFM <= REPOS;
145                 elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '1' then
146                     N_CFM <= CHK_RSP;
147                 end if;
148         end case;
149     end process CFM_RCE;

```

Listing 7 – Réseau Combinatoire d’Entrée Reception Trame

Ce code VHDL traduit l’automate de réception LIN en utilisant un processus combinatoire nommé CFM\_RCE. Il détermine l’état suivant (N\_CFM) en fonction de l’état actuel (P\_CFM) et des signaux d’entrée tels que LinSynchro, NbTbit\_0, Identifier, etc. Chaque état de l’automate est représenté par une branche dans la structure CASE, avec des conditions spécifiques pour les transitions entre états.

```

1  -- Reseau Combinatoire de Sortie
2 CFM_RES : process(P_CFM, H, Identifier, LinSynchro, NbTbit_0,
3   NbDataField_0, SelAddr, nCLR, n_0 )
4 begin
5   -- Valeurs par defaut
6   Error_Start      <= '0';
7   Error_Stop       <= '0';
8   Error_Synchro    <= '0';
9   Identifieur_en   <= '0';
10  IncNbOctet      <= '0';
11  MessageReceiveSet <= '0';
12  NbDataField_EN   <= '0';
13  NbDataField_load <= '0';
14  NbOcyeyRecu_RST  <= '0';
15  OctetRecu_RST    <= '0';
16  OctetRecu_WR     <= '0';
17  OctetRecu_en     <= '0';
18  n_Tbit_Load      <= '0';

```

```

18      n_Tbit_en          <= '0';
19      n_Tbit_select       <= '0';
20      n_en                <= '0';
21      n_load              <= '0';
22      n_select             <= '0';

23
24  case P_CFM is
25    when REPOS => -- Attente
26      if LinSynchro = '0' then
27        n_select          <= '0';
28        n_load            <= '1';
29        n_en              <= '1';
30        n_Tbit_select     <= '0';
31        n_Tbit_en         <= '1';
32        n_Tbit_Load       <= '1';
33      end if;

34
35    when R_BRK_0 => -- Synchro Break 0
36      if NbTbit_0 = '1' and LinSynchro = '1' then
37        n_select          <= '0';
38        n_en              <= '1';
39        n_load            <= '1';
40      elsif NbTbit_0 = '0' and LinSynchro = '1' then
41        Error_Synchro    <= '1';
42      elsif NbTbit_0 = '0' and LinSynchro = '0' and n_0 = '1' then
43        n_Tbit_en          <= '1';
44        n_select          <= '0';
45        n_load            <= '1';
46        n_en              <= '1';
47      elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '0' AND NbTbit_0 = '0' then
48        n_en              <= '1';
49      end if;

50
51    when R_BRK_1 => -- Synchro Break 1
52      if n_0 = '1' and LinSynchro = '0' then
53        -- Nothing
54      elsif n_0 = '0' and LinSynchro = '0' then
55        Error_Synchro    <= '1';
56      elsif n_0 = '0' then
57        n_en              <= '1';
58      end if;

59
60    when SYN_A => -- Attente bit Start Synchronisation
61      if LinSynchro = '0' then
62        n_select          <= '0';
63        n_load            <= '1';
64        n_en              <= '1';
65      end if;

66
67    when SYN_RST => -- Reception Start Synchronisation
68      if n_0 = '0' AND LinSynchro = '0' then
69        n_select          <= '1'; -- passage de fin de front a milieu
70        bit
71        n_load            <= '1';
72        n_en              <= '1';
73        n_Tbit_select     <= '1';
74        n_Tbit_en         <= '1';

```

```

74         n_Tbit_Load      <= '1';
75     elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '1' then
76         Error_Start      <= '1';
77     elsif n_0 = '0' then
78         n_en              <= '1';
79     end if;
80
81 when SYN_RD => -- Reception Data Synchronisation
82     if NbTbit_0 = '1' then
83         n_select          <= '0';
84         n_load            <= '1';
85         n_en              <= '1';
86     elsif n_0 = '1' AND NbTbit_0 = '0' then
87         n_select          <= '0';
88         n_load            <= '1';
89         n_en              <= '1';
90         n_Tbit_en         <= '1';
91         OctetRechu_en    <= '1';
92     elsif n_0 = '0' then
93         n_en              <= '1';
94     end if;
95
96 when SYN_RSP => -- Reception bit Stop Synchronisation
97     if n_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
98         OctetRechu_WR    <= '1';
99         n_select          <= '1';
100        n_load            <= '1';
101        n_en              <= '1';
102    elsif n_0 = '0' AND NbTbit_0 = '0' then
103        Error_Stop        <= '1';
104    elsif n_0 = '0' then
105        n_en              <= '1';
106    end if;
107
108 when IDN_A => -- Attente bit Start Identifier
109     if LinSynchro = '0' then
110         n_select          <= '0';
111         n_load            <= '1';
112         n_en              <= '1';
113     end if;
114
115 when IDN_RST => -- Reception bit Start Identifier
116     if n_0 = '1' AND LinSynchro = '0' then
117         n_select          <= '0';
118         n_load            <= '1';
119         n_en              <= '1';
120         n_Tbit_select     <= '1';
121         n_Tbit_Load       <= '1';
122         n_Tbit_en         <= '1';
123     elsif n_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
124         Error_Start        <= '1';
125     elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '0' then
126         n_en              <= '1';
127     end if;
128
129 when IDN_RD => -- Reception Data Identifier
130     if NbTbit_0 = '1' AND n_0 = '1' then

```

```

131         n_select      <= '0';
132         n_load       <= '1';
133         n_en        <= '1';
134     OctetReçu_en   <= '1';
135     elsif n_0 = '0' then
136         n_en        <= '1';
137     elsif n_0 = '1' AND NbTbit_0 = '0' then
138         n_select      <= '0';
139         n_load       <= '1';
140         n_en        <= '1';
141     n_Tbit_en     <= '1';
142     OctetReçu_en   <= '1';
143 end if;
144
145 when IDN_RSP => -- Reception bit Stop Identifier
146     if n_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
147         OctetReçu_en   <= '1';
148         NbDataField_EN <= '1';
149         Identifieur_en <= '1';
150         NbDataField_load <= '1';
151     elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '0' then
152         Error_Stop     <= '1';
153     elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '1' then
154         n_select      <= '0';
155         n_load       <= '0';
156         n_en        <= '1';
157 end if;
158
159 when DAT_A => -- Attente bit Start Datafield
160     if LinSynchro = '0' then
161         n_select      <= '0';
162         n_load       <= '1';
163         n_en        <= '1';
164 end if;
165
166 when DAT_RST => -- Reception bit Start Datafield
167     if n_0 = '1' AND LinSynchro = '0' then
168         n_select      <= '0';
169         n_load       <= '1';
170         n_en        <= '1';
171         n_Tbit_select <= '1';
172         n_Tbit_Load  <= '1';
173         n_Tbit_en    <= '1';
174     elsif n_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
175         Error_Start    <= '1';
176     elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '0' then
177         n_en        <= '1';
178 end if;
179
180 when DAT_RD => -- Reception bit Data Datafield
181     if NbTbit_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
182         n_select      <= '0';
183         n_load       <= '1';
184         n_en        <= '1';
185         OctetReçu_en   <= '1';
186     elsif n_0 = '0' then
187         n_en        <= '1';

```

```

188         elsif n_0 = '1' AND NbTbit_0 = '0' then
189             n_select      <= '0';
190             n_load       <= '1';
191             n_en        <= '1';
192             n_Tbit_en    <= '1';
193             OctetReçu_en <= '1';
194         end if;
195
196         when DAT_RSP => -- Reception bit Stop Datafield
197             if n_0 = '0' AND NbDataField_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
198                 OctetReçu_WR   <= '1';
199                 n_select      <= '0';
200                 n_load       <= '1';
201                 n_en        <= '1';
202                 IncNbOctet   <= '1';
203             elsif NbDataField_0 = '0' AND n_0 = '1' AND LinSynchro = '1'
204                 then
205                 OctetReçu_WR   <= '1';
206                 NbDataField_EN <= '1';
207                 n_select      <= '0';
208                 n_load       <= '1';
209                 n_en        <= '1';
210                 IncNbOctet   <= '1';
211             elsif n_0 = '1' AND LinSynchro = '0' then
212                 Error_Stop    <= '1';
213             elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '1' then
214                 n_en        <= '1';
215             end if;
216
217         when CHK_A => -- Attente bit Start Checksum
218             if LinSynchro = '0' then
219                 n_select      <= '0';
220                 n_load       <= '1';
221                 n_en        <= '1';
222             end if;
223
224         when CHK_RST => -- Reception bit Start Checksum
225             if n_0 = '1' AND LinSynchro = '0' then
226                 n_select      <= '0';
227                 n_load       <= '1';
228                 n_en        <= '1';
229                 n_Tbit_select <= '1';
230             elsif n_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
231                 Error_Start   <= '1';
232             elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '0' then
233                 n_en        <= '1';
234             end if;
235
236         when CHK_RD => -- Reception bit Data Checksum
237             if NbTbit_0 = '1' AND LinSynchro = '1' then
238                 n_select      <= '0';
239                 n_load       <= '1';
240                 n_en        <= '1';
241             elsif n_0 = '1' AND NbTbit_0 = '0' then
242                 n_en        <= '1';
243             elsif n_0 = '0' then
244                 n_Tbit_en    <= '1';

```

```

244         n_select      <= '0';
245         n_load       <= '1';
246         n_en        <= '1';
247         OctetRecu_en <= '1';
248         Identifieur_en <= '1';
249         NbDataField_load <= '1';
250         NbDataField_EN   <= '1';
251     end if;
252
253 when CHK_RSP => -- Reception bit Stop Checksum
254     if n_0 = '0' AND LinSynchro = '1' AND Identifier = SelAddr then
255         MessageReceiveSet <= '1';
256         NbOcyeyRecu_RST   <= '1';
257     elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '1' AND Identifier /= SelAddr
258         then
259             MessageReceiveSet <= '1';
260             NbOcyeyRecu_RST   <= '1';
261     elsif n_0 = '0' AND LinSynchro = '0' then
262         Error_Stop        <= '1';
263     elsif n_0 = '0' then
264         n_en            <= '1';
265     end if;
266
267 when others =>
268     -- Sec
269     null;
270 end case;
271 end process CFM_RES;

```

Listing 8 – Réseau Combinatoire de Sortie Reception Trame

Ce code VHDL implémente le réseau combinatoire de sortie (CFM\_RES) pour l'automate de réception LIN. Il met à jour les signaux de sortie tels que Error\_Start, Error\_Stop, OctetRecu\_WR, etc., en fonction de l'état actuel (P\_CFM) et des signaux d'entrée. Chaque état de l'automate est géré dans une structure CASE, avec des conditions spécifiques pour définir les actions à entreprendre dans chaque état. Des valeurs par défaut sont également définies au début du processus pour éviter des comportements indésirables.

Une fois ces processus implémentés, il nous reste qu'à les assemblés pour ne formé qu'une machine Complete.

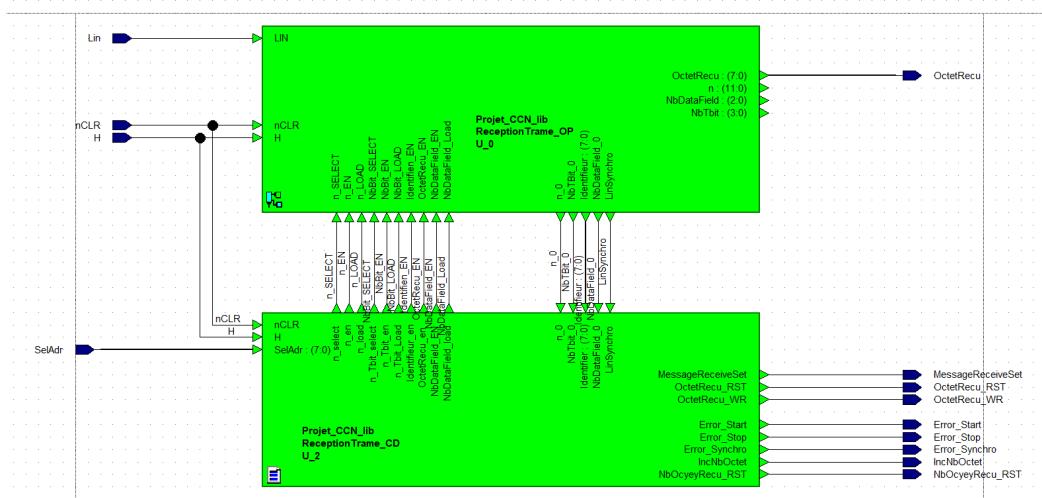


FIGURE 23 – Machine Séquentielle réception LIN

Le schéma complet de l'interface de réception LIN est présenté ci-dessus, illustrant l'intégration des différentes parties opératives et commandes ( Réprésentant la machine séquentielle ).

### 7.3 FIFO

La mémoire FIFO (First In, First Out) a été conçue pour stocker temporairement les données reçues via l'interface LIN avant leur traitement ultérieur. Elle est structurée autour d'un composant clé, la FIFO. Cette section a été réalisée sur un schéma blocs, en reprenant les concepts vus en cours.

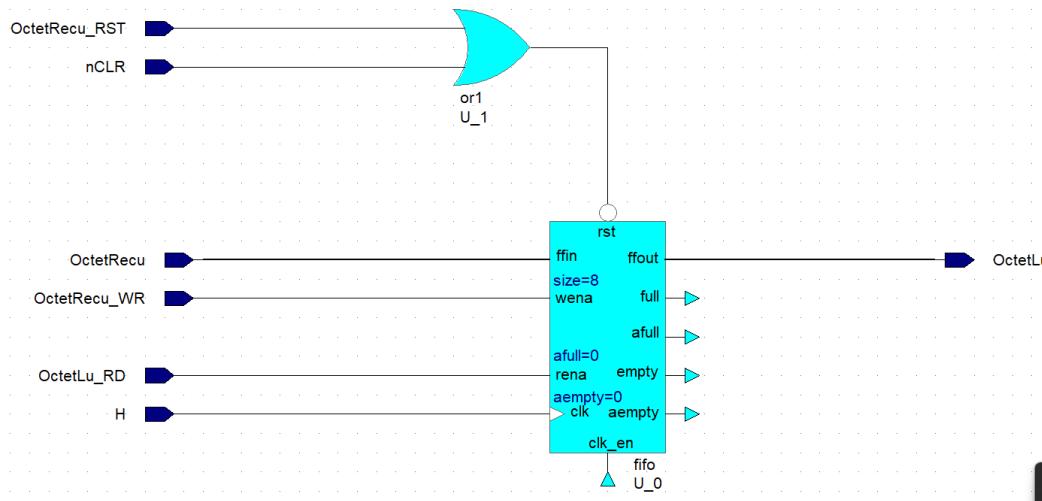


FIGURE 24 – Schéma bloc FIFO

### 7.4 Etat Interne

Etat interne est un composant VHDL qui gère les états internes du système de réception LIN. Le système a été conçu pour suivre et contrôler les différentes étapes du processus de réception

des trames LIN. L'Objectifs étant d'additionner des fonctionnalités de contrôle et de gestion des états internes pour ne formé qu'une seul trame.

Ce système à lui aussi été conçu sous la forme d'un schéma bloc, reprenant les concepts vus en cours. Avec des bascules D, des compteurs et l'ajout de OR pour gérer les RESET.

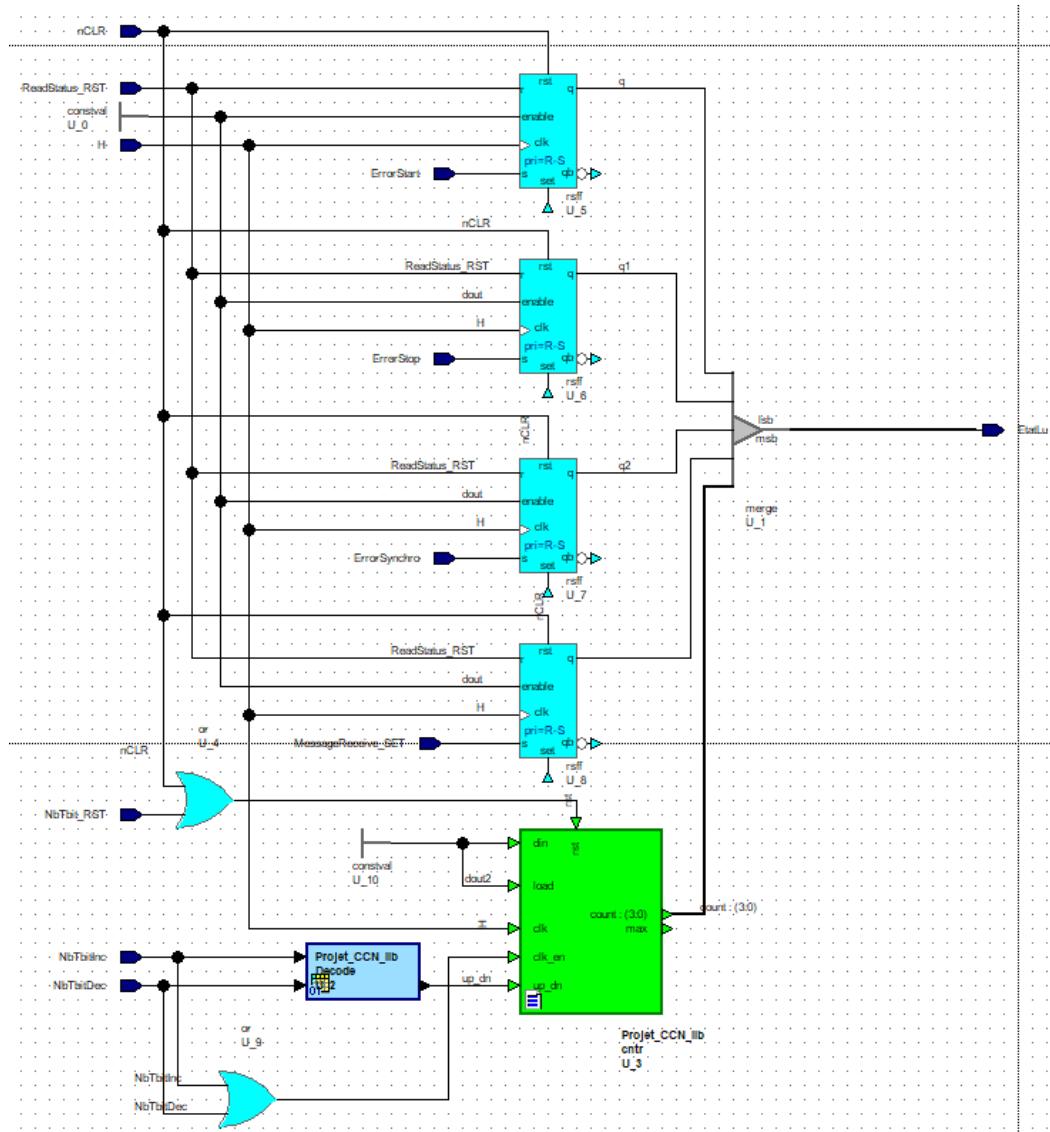


FIGURE 25 – Schéma bloc EtatInterne

Le module de Décode présent avant le compteur/decompteur permet de savoir si il doit compter ou décompter. Ce signal sera généré en fonction des états des signaux de la partie commande.

---

| NbTbitInc | NbTbitDec | UP/DN |
|-----------|-----------|-------|
| 0         | 0         | X     |
| 0         | 1         | 1     |
| 0         | 0         | 0     |
| 1         | 1         | X     |

## 8 Simulation des fonctions

### 8.1 Interface Microprocesseur

Dans cette section, nous présentons la simulation du bloc *Interface Microprocesseur* et l'analyse des chronogrammes obtenus. La simulation a été réalisée à l'aide d'un *testbench*, implémenté sous la forme d'un bloc nommé **EnvTest\_InterfaceMicroprocesseur**, connecté au composant **InterfaceMicroprocesseur**. L'objectif est de vérifier la conformité du fonctionnement par rapport à l'automate décrit dans la section *Architecture*.

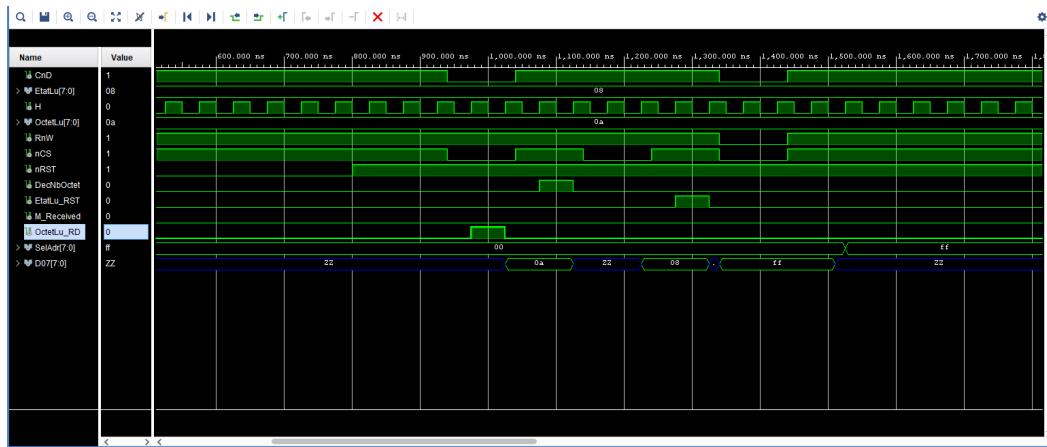


FIGURE 26 – Chronogramme de simulation de l'Interface Microprocesseur

Le testbench (fourni en annexe) a pour rôle de reproduire l'environnement dans lequel le composant est amené à fonctionner. Il émule le comportement d'un microprocesseur en générant automatiquement les stimuli nécessaires à la validation du bloc testé.

#### 8.1.1 Déclarations et signaux

Le testbench commence par la déclaration des librairies IEEE, nécessaires à la manipulation des types logiques et des vecteurs binaires. Les principaux signaux utilisés sont :

- CnD, RnW, nCS, nRST, H : lignes de contrôle classiques d'une interface microprocesseur (commande/données, lecture/écriture, sélection du composant, reset, horloge),
- OctetLu, EtatLu, SelAdr, D07 : bus de données et d'adresses sur 8 bits,
- DecNbOctet, EtatLu\_RST, M\_Received, OctetLu\_RD : signaux internes utilisés pour la communication avec le composant testé.

#### 8.1.2 Instanciation du composant testé

Le composant **InterfaceMicroprocesseur** est instancié dans l'architecture de simulation. Il est relié à l'ensemble des signaux déclarés, permettant ainsi l'observation de son comportement face aux stimuli générés.

#### 8.1.3 Environnement de test

Le composant **EnvTest\_InterfaceMicroprocesseur** simule le rôle du microprocesseur en générant automatiquement les signaux nécessaires :

- génération de l'horloge (H),
- gestion du reset global (nRST),

- activation des commandes de lecture/écriture (RnW, CnD, nCS),
  - pilotage du bus de données (D07).
- Cet environnement est donné par plusieurs paramètres génériques :
- **CLOCK\_PERIOD** : période d'horloge (50 ns),
  - **RESET\_OFFSET** et **RESET\_DURATION** : moment et durée du reset (500 ns et 300 ns),
  - **ACCESS\_TIME** et **HOLD\_TIME** : contraintes temporelles d'accès et de maintien (40 ns et 70 ns).

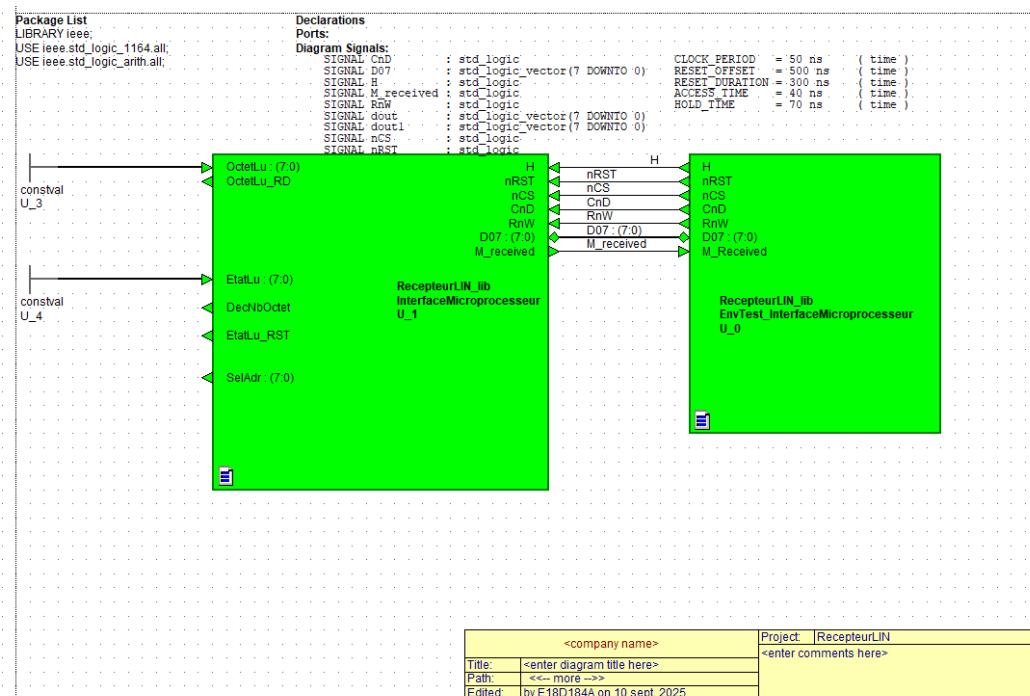


FIGURE 27 – Block Diagramme de test de l'Interface Microprocesseur

#### 8.1.4 Stimuli supplémentaires

Un processus spécifique (**StimProc**) complète la génération des signaux. Après la fin du reset, il impose des valeurs constantes sur certaines lignes :

- **OctetLu**  $\leftarrow$  10 (codé sur 8 bits),
- **EstatLu**  $\leftarrow$  8 (codé sur 8 bits).

Ces valeurs permettent de vérifier la gestion correcte des données reçues par l'interface. La simulation est ensuite maintenue en attente infinie.

#### 8.1.5 Analyse du chronogramme de simulation

L'analyse du chronogramme met en évidence le comportement attendu du composant :

- lorsque les signaux de contrôle actifs à l'état bas (nRST, nCS) sont à l'état haut, aucune action n'est effectuée,
- lorsque ces signaux sont activés (passage à l'état bas), le composant réagit conformément à l'automate interne,
- les signaux RnW et CnD permettent de sélectionner respectivement les opérations de lecture/écriture et le type d'accès (commande ou données),
- les valeurs imposées sur OctetLu et EtatLu sont correctement lues via le bus de données D07.

Ce chronogramme confirme ainsi le bon fonctionnement du composant **InterfaceMicroprocesseur** : après la levée du reset, l'environnement de test génère des cycles de lecture et d'écriture auxquels le composant répond correctement, en échangeant les données prévues et en activant les signaux de contrôle appropriés.

## 8.2 Interface Reception LIN

- 8.2.1 Déclarations et signaux
- 8.2.2 Instanciation du composant testé
- 8.2.3 Environnement de test
- 8.2.4 Stimuli supplémentaires
- 8.2.5 Analyse du chronogramme de simulation

## 9 Synthèse des fonctions

Une fois la validation en simulation des différents blocs effectuée, il est nécessaire de réaliser la synthèse sur FPGA afin d'observer les ressources logiques attribuées à notre système. Dans le cadre de ce projet, nous avons utilisé un FPGA *AMD Xilinx Artix-7*, plus précisément le modèle **7A35TCPG236**. L'objectif de cette étape est d'analyser les ressources logiques mobilisées, ainsi que les éléments matériels effectivement utilisés par notre conception.

### 9.1 Interface Microprocesseur

Le schéma RTL (*Register Transfer Level*) représente une implémentation synthétisée d'un module matériel décrit en VHDL ou Verilog. Il illustre les registres, les multiplexeurs, les portes logiques, ainsi que la logique séquentielle et combinatoire du circuit.

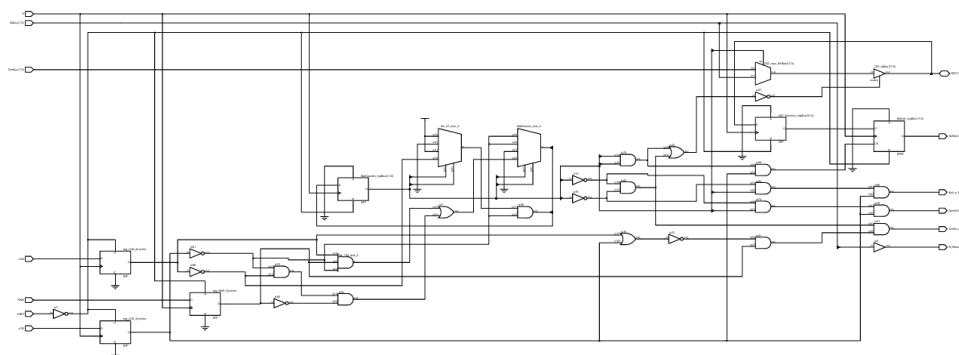


FIGURE 28 – Schéma RTL InterfaceMicroprocesseur

### Structure générale

Le schéma peut être décomposé en plusieurs parties :

- **Entrées principales** : signaux tels que H, CnD, RnW, nRST, nCS, etc.
- **Registres (Flip-Flops D)** : éléments synchronisés par l'horloge, servant à mémoriser l'état interne du circuit.
- **Multiplexeurs (MUX)** : permettent de sélectionner une donnée parmi plusieurs, selon les conditions de contrôle.
- **Logique combinatoire** : réalisée par des portes AND, OR, NOT et XOR, afin de générer les conditions de transition et les sorties.
- **Sorties** : plusieurs signaux dérivés de l'état interne, comme **State\_XX**, **Output\_XX**, etc.

### Fonctionnement global

Le circuit implémente une **machine à états finis** :

- Les **registres** contiennent l'état courant.
- La **logique combinatoire** calcule l'état suivant en fonction de l'état courant et des entrées.
- Les **multiplexeurs** dirigent les transitions entre états.
- Les **sorties** sont activées ou désactivées selon l'état courant et certaines combinaisons d'entrées.

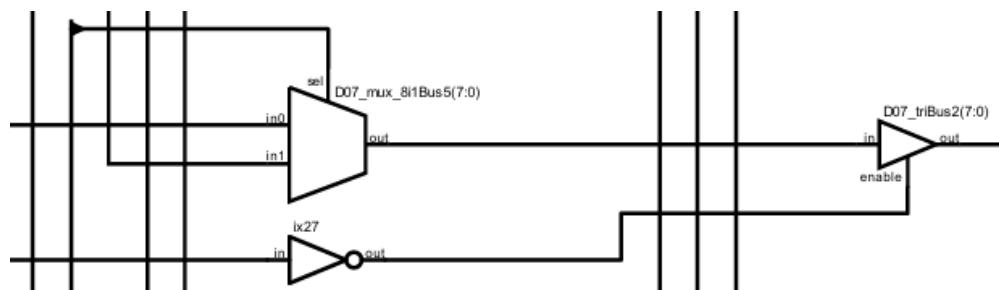


FIGURE 29 – Partie opérative avec multiplexeur et Tristate : InterfaceMicroprocesseur

De plus, nous pouvons retrouver la partie opérative dessinée en classe, lors de nos TD, qui permet, grâce à un multiplexeur, de sélectionner **Etallu** ou **OctetLu** pour l'envoyer vers une porte **Tristate**. Cela démontre la cohérence entre la réalisation théorique et la mise en œuvre pratique.

À la suite de la synthèse logique nous pouvons avoir la synthèse matériel qui transforme la logique en ressource matérielle.

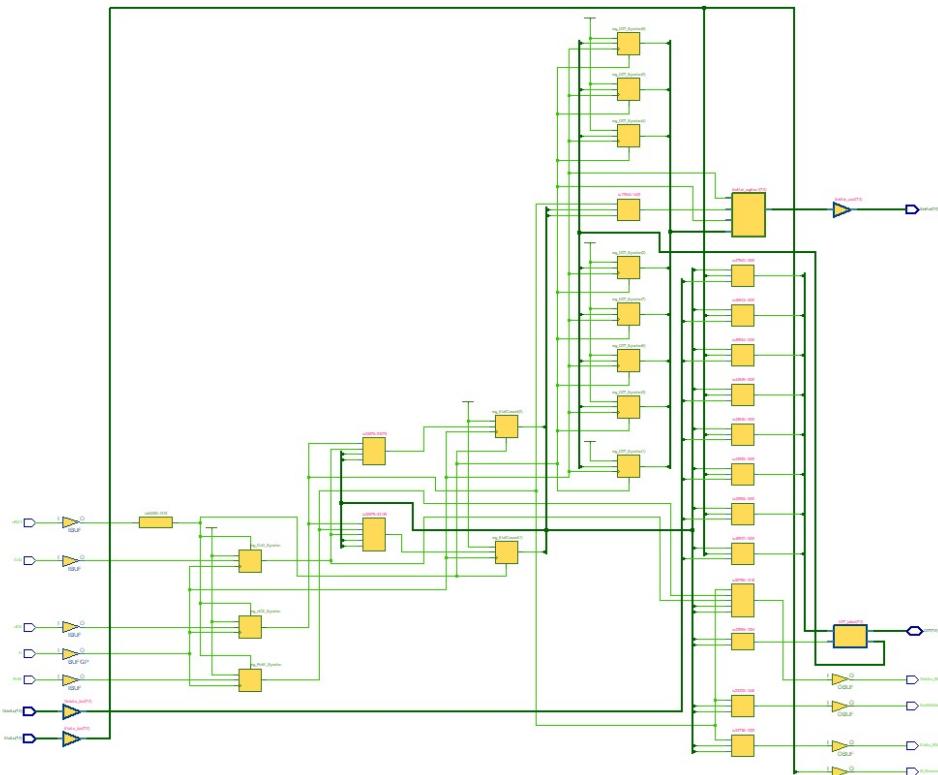


FIGURE 30 – Synthèse matérielle InterfaceMicroprocesseur

Cette transformation consiste à mapper les éléments logiques du schéma RTL, tels que les portes **AND**, **OR**, **NOT** ou les **multiplexeurs**, sur les **ressources matérielles physiques** disponibles dans le FPGA, notamment :

- **LUT (Look-Up Tables)** : les fonctions combinatoires, comme les portes logiques ou les multiplexeurs, sont réalisées à l'aide de LUT. Chaque LUT peut implémenter n'importe

quelle fonction booléenne sur un nombre limité d'entrées, ce qui permet de reproduire fidèlement la logique définie dans le HDL.

- **Flip-flops** : les éléments séquentiels tels que les registres ou les bascules sont mappés sur des flip-flops pour stocker les bits et synchroniser les signaux dans le temps.
- **Buffers** : certains chemins logiques nécessitent des buffers pour renforcer les signaux ou adapter les niveaux électriques, garantissant ainsi la stabilité et l'intégrité du routage sur la puce.

Grâce à cette conversion, le design passe d'une **représentation abstraite de la logique** à une **implémentation matérielle concrète**, optimisée pour le FPGA cible. Cela permet non seulement de visualiser l'organisation physique des composants.

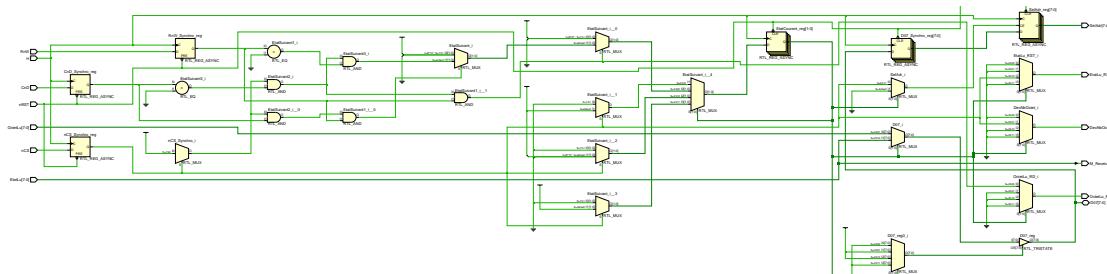
## 10 Routages des Fonctions

### 10.1 Interface Microprocesseur

Après l'étape de **synthèse**, nous pouvons nous intéresser à l'assignation des ressources matérielles du système.

Pour cela, nous utilisons le logiciel **Vivado** (étant donné que les outils de HDL n'étaient pas disponibles le jour du TP), qui permet de générer un schéma RTL ainsi qu'une vue du routage associé à l'interface microprocesseur.

Dans un premier temps, Nous allons resynthétiser le design afin d'obtenir le schéma RTL. Ce schéma, présenté ci-dessous, illustre les ressources logiques utilisées pour implémenter l'interface microprocesseur.



Par la suite, nous pouvons également observer la synthèse matérielle réalisée sur Vivado, qui transforme les ressources logiques en ressources matérielles pour le FPGA.

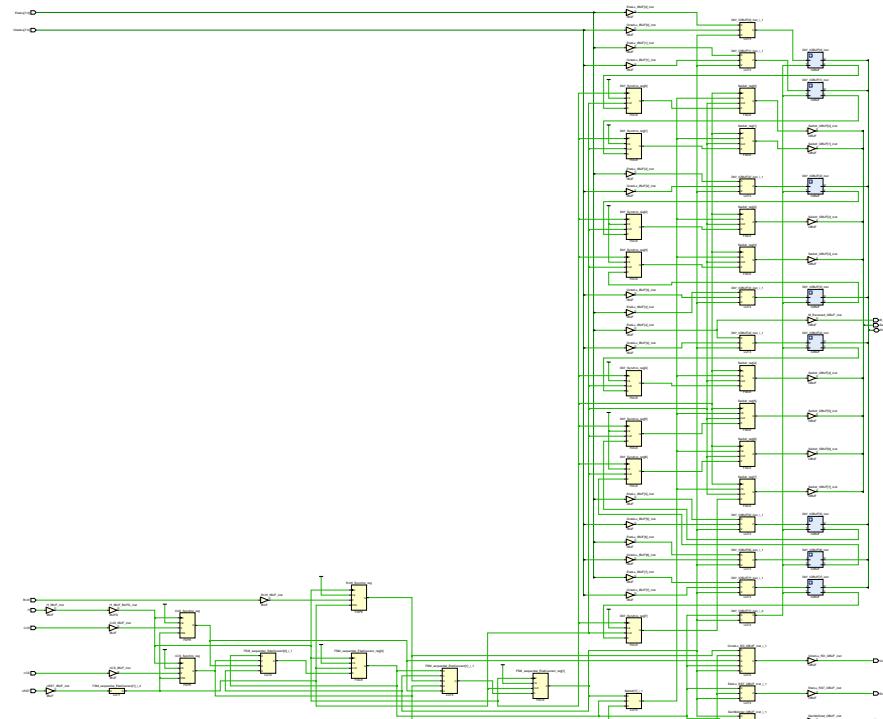
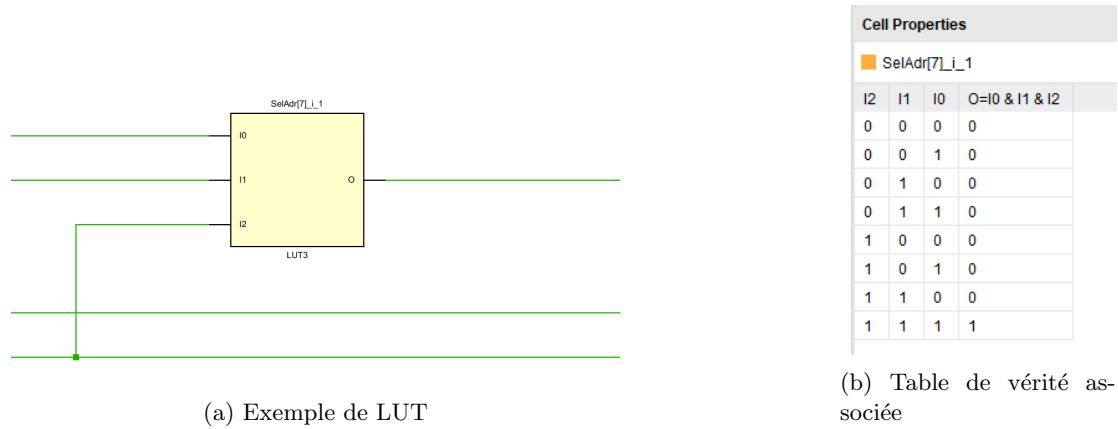


FIGURE 31 – Synthèse matérielle Vivado

Cette synthèse nous montre que la logique est transformée en ressource matérielle, notamment des LUT (Look-Up Tables) et des Flip-Flops, qui sont les éléments de base pour implémenter la logique dans un FPGA.

Les **LUT** (Look-Up Tables), éléments fondamentaux d'un FPGA, peuvent être considérées comme des portes logiques programmables capables de réaliser toute fonction combinatoire. Elles constituent la base de l'implémentation matérielle et offrent une vision schématique complète du système.

Prenons l'exemple d'une **LUT3** :



(a) Exemple de LUT

(b) Table de vérité associée

FIGURE 32 – Illustration d'une LUT et de sa table de vérité

Grace à la table de vérité de la LUT nous remarquons que cette LUT3 implémente une fonction logique ET à trois entrées.

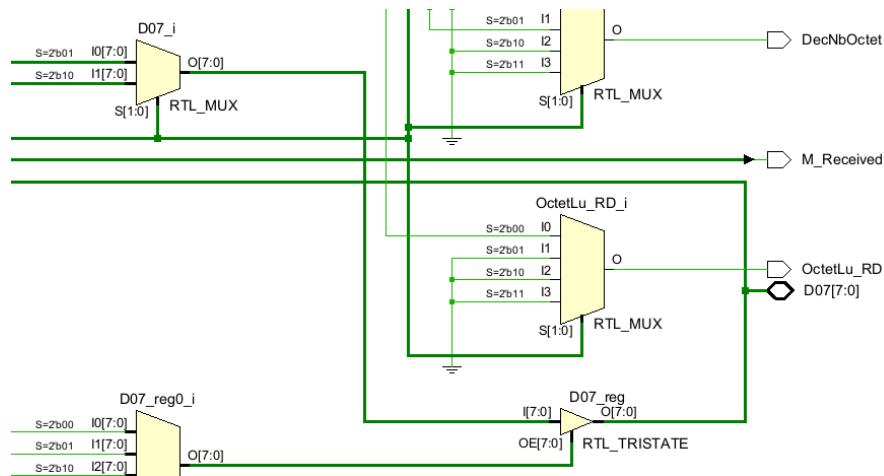


FIGURE 33 – Synthèse Logique Vivado

Nous observons également la présence de la partie opérative de l'interface Microprocesseur.

La suite du flot de conception consiste à lancer l'**implémentation** du système afin d'obtenir

le routage complet. Vivado propose alors une vue générale du FPGA, mettant en évidence ses différentes zones fonctionnelles :

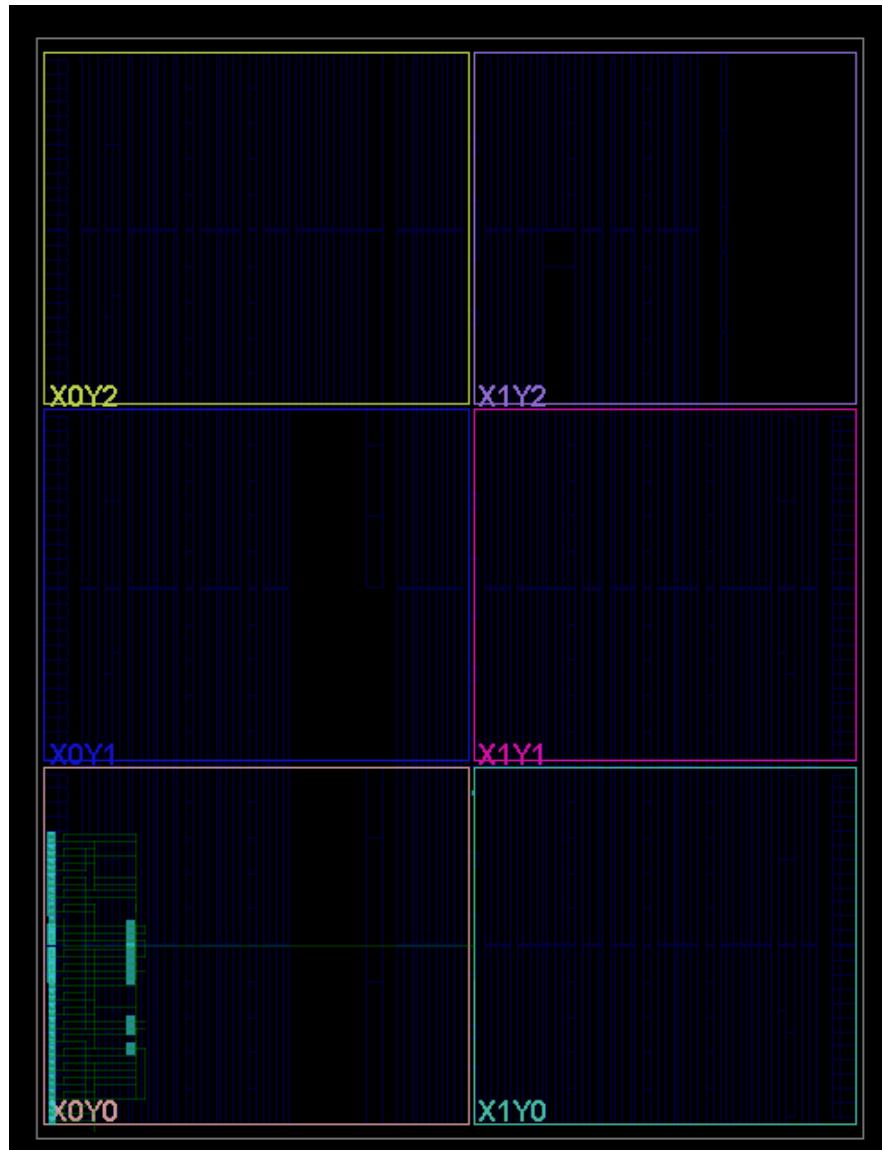


FIGURE 34 – Slice du FPGA après routage

En effectuant un zoom, il est possible de constater que le système a été implémenté dans la zone **0** du FPGA. Nous observons que la zone située à gauche correspond aux entrées de chaque variable, celles-ci étant toutes reliées à des **buffers**.

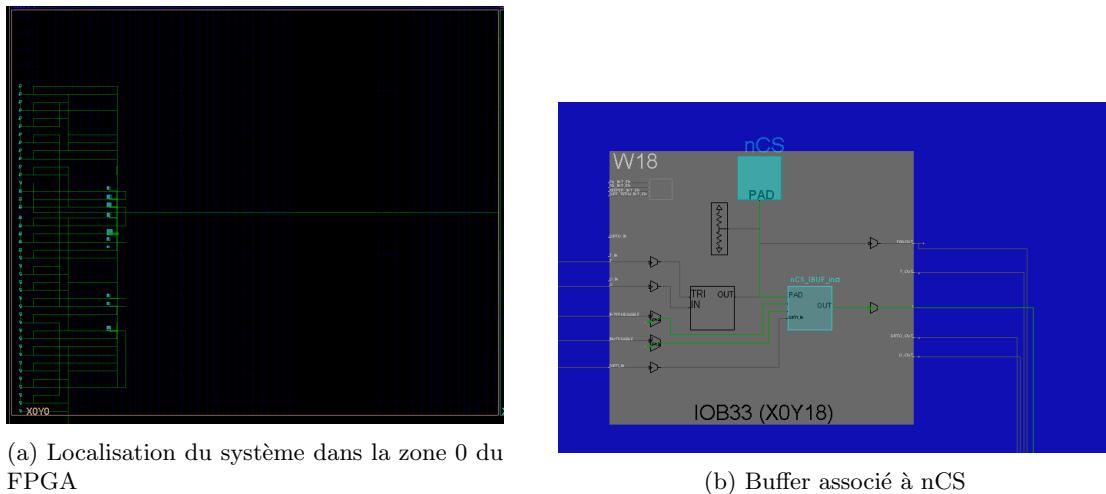


FIGURE 35 – Vue du système routé et des buffers associés sur le FPGA

Un zoom encore plus détaillé permet d'observer le câblage interne des ressources identifiées lors de la synthèse. Par exemple, une **LUT3** est câblée de la manière suivante :

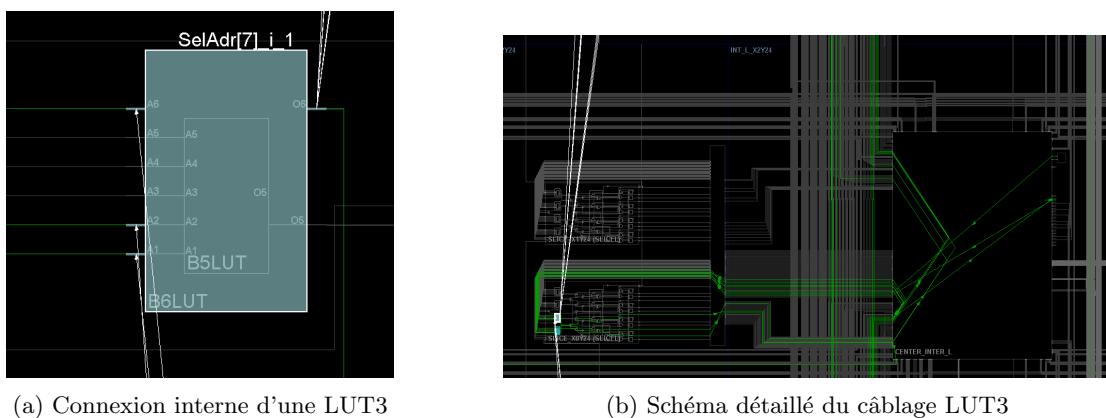


FIGURE 36 – Exemple de routage d'une LUT3 dans le FPGA

Le résultat final est une représentation complète et hiérarchisée du système, directement mappée sur le FPGA. **Vivado** offre ainsi la possibilité de visualiser l'ensemble du flot, depuis la description logique RTL jusqu'au routage physique détaillé.

En résumé, la conception suit une progression en trois étapes :

- la **synthèse** génère une description logique optimisée du système (LUT, registres, blocs fonctionnels) ;
- le **placement** attribue ces ressources aux cellules physiques du FPGA ;
- le **routage** établit les interconnexions nécessaires au bon fonctionnement du circuit.

Cette approche permet de passer d'une description abstraite en langage HDL à une implémentation matérielle concrète, où chaque fonction logique est traduite en ressources physiques. Vivado fournit alors une vision globale et détaillée du FPGA, allant de la logique combinatoire jusqu'au câblage interne des composants.

## 11 Conclusion

Pour ce premier rapport concernant le projet **Réception LIN** de conception de circuit numérique, nous avons suivi plusieurs étapes successives afin de concevoir ce système.

Dans un premier temps, lors des séances de TD, nous avons décomposé notre étude en plusieurs parties afin de répondre au cahier des charges. L'utilisation du **diagramme en Y** nous a permis d'analyser séparément chacune de ces étapes et de structurer notre démarche.

La phase de **spécification fonctionnelle** nous a permis de définir l'ensemble des ressources nécessaires, en lien direct avec le cahier des charges, ainsi que le nombre de blocs et les signaux de base.

Ensuite, la **solution architecturale** a permis de préciser chaque partie en les reliant à des modèles connus (machines séquentielles, machines de Moore ou machines de Mealy). Cette étape a été essentielle pour découper notre système en une partie opérative et une partie commande :

- la partie opérative a été conçue à partir de blocs logiques simples (multiplexeurs, bascules D, etc.) ;
- la partie commande a été décrite sous forme d'automates, associés à des machines de Moore ou de Mealy, afin d'obtenir une description claire et structurée.

Cette méthodologie nous a permis d'écrire un code plus simple, lisible et cohérent.

La phase de **simulation** a ensuite validé le fonctionnement du système en stimulant les différents ports d'entrée et en observant les sorties.

La phase de **synthèse** nous a permis de vérifier la logique interne du système à travers les schémas RTL générés. Ces schémas ont ensuite été exploités dans Vivado, qui a associé les différentes fonctions logiques aux **LUT**.

Enfin, l'**implémentation** nous a donné accès au routage sur FPGA. Cette étape a permis de vérifier concrètement l'affectation des ressources matérielles et le câblage interne du système.

En conclusion, ce premier travail nous a permis de valider l'**interface microprocesseur**. La suite du projet consistera à finaliser la conception complète du récepteur LIN afin de répondre à l'intégralité du cahier des charges.

## 12 Annexes

### 12.1 Testbench InterfaceMicroprocesseur

```

1 LIBRARY ieee;
2 USE ieee.std_logic_1164.all;
3 USE ieee.std_logic_arith.all;
4
5 ENTITY EnvTest_InterfaceMicroprocesseur IS
6     GENERIC(
7         CLOCK_PERIOD      : time := 50 ns;
8         RESET_OFFSET     : time := 500 ns;
9         RESET_DURATION   : time := 300 ns;
10        ACCESS_TIME     : time := 40 ns;
11        HOLD_TIME       : time := 70 ns
12    );
13    PORT(
14        M_Received : IN      std_logic;
15        CnD        : OUT     std_logic;
16        H          : OUT     std_logic;
17        RnW        : OUT     std_logic;
18        nCS        : OUT     std_logic;
19        nRST       : OUT     std_logic;
20        D07        : INOUT   std_logic_vector (7 DOWNTO 0)
21    );
22    -- Declarations
23
24 END EnvTest_InterfaceMicroprocesseur ;
25
26 --
27 ARCHITECTURE arch OF EnvTest_InterfaceMicroprocesseur IS
28     TYPE DefState IS (Waiting, DataReading, StateReading, FilterWriting);
29
30     SIGNAL ProcessorState : DefState;
31
32 BEGIN
33
34     ClockGeneratorProc : PROCESS
35     BEGIN
36         H <= '0';
37         WAIT FOR CLOCK_PERIOD/2;
38         H <= '1';
39         WAIT FOR CLOCK_PERIOD/2;
40     END PROCESS ClockGeneratorProc;
41
42     ResetGeneratorProc : PROCESS
43     BEGIN
44         nRST <= '1';
45         WAIT FOR RESET_OFFSET;
46         nRST <= '0';
47         WAIT FOR RESET_DURATION;
48         nRST <= '1';
49         WAIT;
50     END PROCESS ResetGeneratorProc;
51
52     ProcessorBehaviorProc : PROCESS

```

```

53 BEGIN
54     D07 <= (others => 'Z');
55     --Waiting cycle--
56     ProcessorState <= Waiting;
57     nCS <= '1';
58     CnD <= '1';
59     RnW <= '1';
60     WAIT FOR RESET_OFFSET+RESET_DURATION+2*CLOCK_PERIOD;
61     --Reading data cycle--
62     ProcessorState <= DataReading;
63     WAIT FOR ACCESS_TIME;
64     nCS <= '0';
65     CnD <= '0';
66     RnW <= '1';
67     WAIT FOR 2*CLOCK_PERIOD;
68     --Waiting cycle--
69     ProcessorState <= Waiting;
70     nCS <= '1';
71     CnD <= '1';
72     RnW <= '1';
73     WAIT FOR 2*CLOCK_PERIOD-ACCESS_TIME;
74     --Reading state cycle--
75     ProcessorState <= StateReading;
76     WAIT FOR ACCESS_TIME;
77     nCS <= '0';
78     CnD <= '1';
79     RnW <= '1';
80     WAIT FOR 2*CLOCK_PERIOD;
81     --Waiting cycle--
82     ProcessorState <= Waiting;
83     nCS <= '1';
84     CnD <= '1';
85     RnW <= '1';
86     WAIT FOR 2*CLOCK_PERIOD-ACCESS_TIME;
87     --Writing cycle--
88     ProcessorState <= FilterWriting;
89     WAIT FOR ACCESS_TIME;
90     nCS <= '0';
91     CnD <= '0';
92     RnW <= '0';
93     D07 <= (others => '1');
94     WAIT FOR 2*CLOCK_PERIOD;
95     --Waiting cycle--
96     ProcessorState <= Waiting;
97     nCS <= '1';
98     CnD <= '1';
99     RnW <= '1';
100    WAIT FOR HOLD_TIME;
101    D07 <= (others => 'Z');
102    WAIT;
103 END PROCESS ProcessorBehaviorProc;
104
105 END ARCHITECTURE arch;

```

Listing 9 – Testbench InterfaceMicroprocesseur

## Table des figures

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Exemple d'architecture d'un réseau dans un véhicule . . . . .                                       | 4  |
| 2  | Exemple d'architecture LIN . . . . .  | 5  |
| 3  | Connexion physique d'un noeud à la ligne LIN . . . . .  | 5  |
| 4  | Type de Trame Protocol LIN . . . . .  | 6  |
| 5  | Interface microprocesseur associée au circuit à concevoir . . . . .                                 | 8  |
| 6  | Chronogrammes des échanges entre le circuit et son environnement . . . . .                          | 8  |
| 7  | Schema Conception Registre interne Système . . . . .  | 9  |
| 8  | Description fonctionnelle du circuit à concevoir . . . . .  | 10 |
| 9  | Représentation fonctionnelle des échanges entre l'émetteur LIN et le système à processeur . . . . . | 12 |
| 10 | Structure fonctionnelle initiale du circuit après introduction des interfaces . . . . .             | 12 |
| 11 | Échanges fonctionnels entre le système et le processeur . . . . .                                   | 13 |
| 12 | Architecture fonctionnelle optimisée du système de réception de trame LIN . . . . .                 | 13 |
| 13 | Description fonctionnelle finale du circuit complet . . . . .                                       | 14 |
| 14 | Organisation séquentielle du bloc de réception de trame . . . . .                                   | 16 |
| 15 | Structure opérative du bloc de réception de trame . . . . .   | 16 |
| 16 | Automate de réception de trame LIN . . . . .  | 17 |
| 17 | Machine de Mealy – Unité de commande de réception de trame . . . . .                                | 18 |
| 18 | Structure opérative de l'interface microprocesseur . . . . .  | 18 |
| 19 | Machine de Mealy – Interface microprocesseur . . . . .  | 19 |
| 20 | Implémentation structurelle de la mémoire FIFO . . . . .  | 19 |
| 21 | Implémentation structurelle du registre d'état au niveau RT . . . . .                               | 20 |
| 22 | Schéma partie opérative réception LIN . . . . .   | 24 |
| 23 | Machine Séquentielle réception LIN . . . . .  | 35 |
| 24 | Schéma bloc FIFO . . . . .  | 35 |
| 25 | Schéma bloc EtatInterne . . . . .   | 36 |
| 26 | Chronogramme de simulation de l'Interface Microprocesseur . . . . .                                 | 38 |
| 27 | Block Diagramme de test de l'Interface Micropprocesseur . . . . .                                   | 39 |
| 28 | Schéma RTL InterfaceMicropprocesseur . . . . .  | 41 |
| 29 | Partie opérative avec multiplexeur et Tristate : InterfaceMicropprocesseur . . . . .                | 42 |
| 30 | Synthèse matérielle InterfaceMicropprocesseur . . . . .   | 42 |
| 31 | Synthèse matérielle Vivado . . . . .  | 44 |
| 32 | Illustration d'une LUT et de sa table de vérité . . . . .   | 45 |
| 33 | Synthèse Logique Vivado . . . . .   | 45 |
| 34 | Slice du FPGA après routage . . . . .   | 46 |
| 35 | Vue du système routé et des buffers associés sur le FPGA . . . . .                                  | 47 |
| 36 | Exemple de routage d'une LUT3 dans le FPGA . . . . .  | 47 |