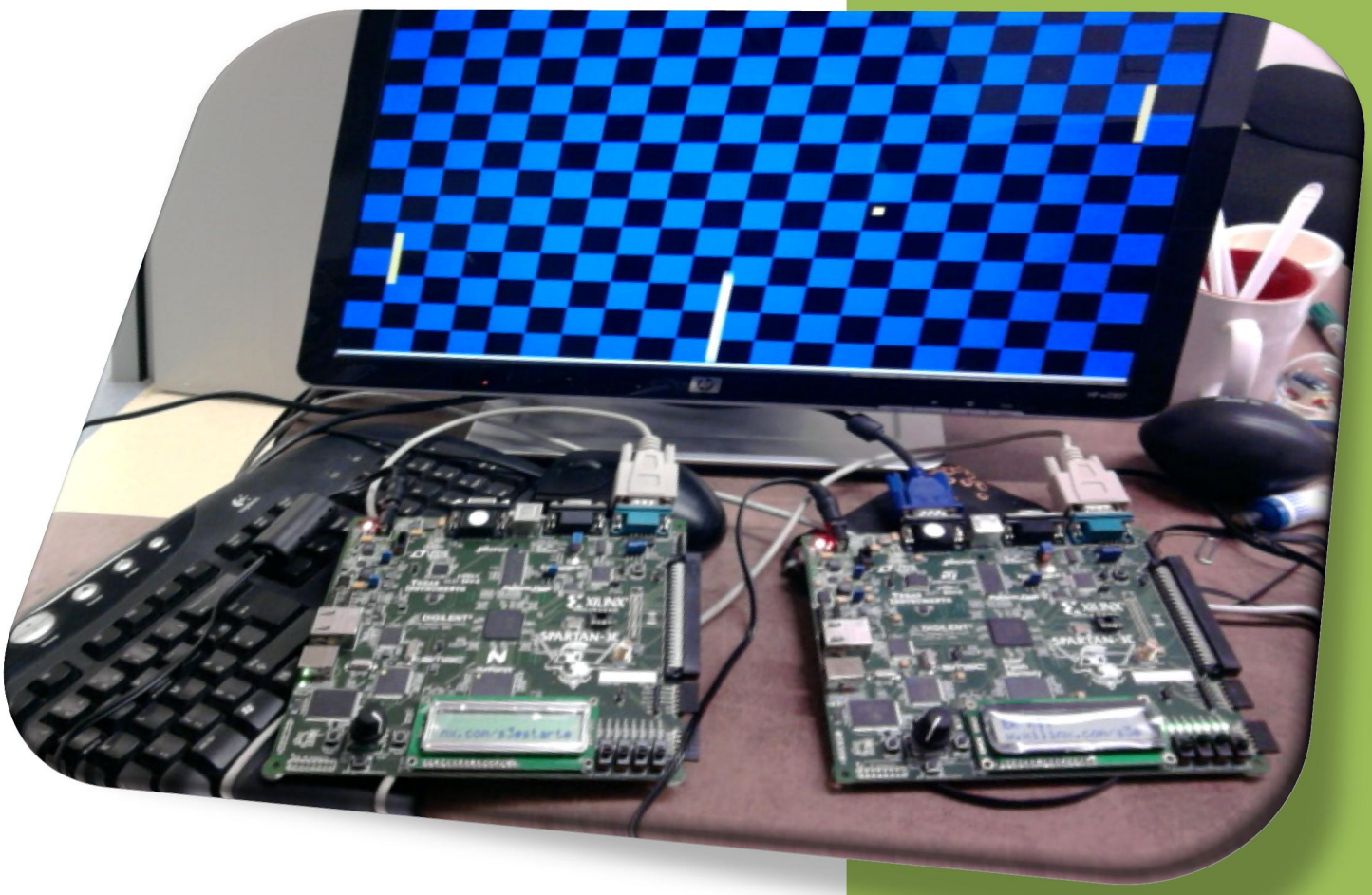
UPMC
SORBONNE UNIVERSITÉS

3E201

Console PMC-E201 sur FPGA



Documentation Technique (Etudiants)

Julien Denoulet

3E201 – Mini Projet – Console PMC-E201

Printemps 2013

PRESENTATION GENERALE DE LA CONSOLE PMC-E201

1) Introduction

La console PMC-E201 contient deux jeux comptant parmi les plus célèbres de l'histoire des jeux vidéo

- Casse-Briques (pour 1 joueur)

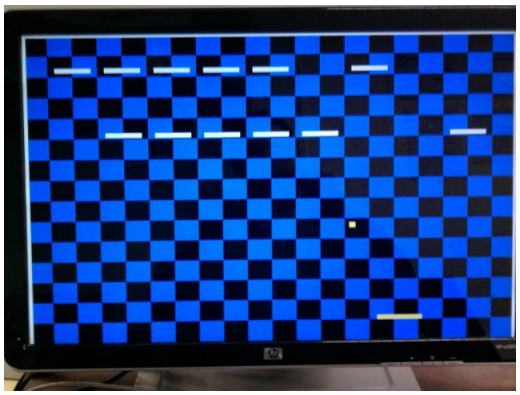


Figure 1 – Casse Briques

- Pong (pour 2 joueurs)

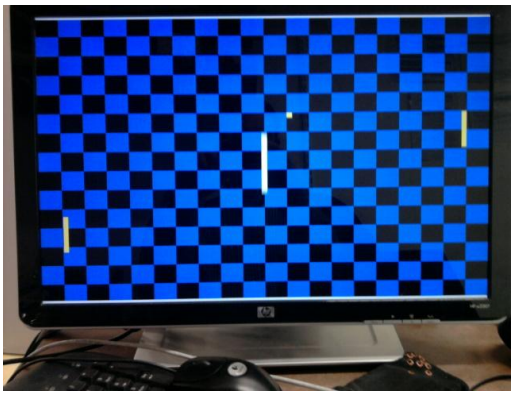


Figure 2 – Pong

L'utilisateur peut à tout moment choisir le jeu auquel il a envie de jouer, fixer un certain nombre d'options (vitesse de la balle, taille des raquettes…) et également configurer la PMC-E201 en mode console ou en mode manette.

Pour le Casse-Briques, le joueur utilise une manette de jeu présente sur la console. Pour le jeu Pong, il faut utiliser deux PMC-E201 : l'une en mode console, et l'autre en mode manette. La manette se connecte à la console via le connecteur RS-232.

L'affichage se fait sur un écran grâce à la sortie VGA de la console.

Figure 3 : Borne d'arcade originale du jeu Pong (1972)

2) Présentation des jeux

Figure 4 : Borne d'arcade jeu Casse Briques (1975)

- ***Casse Briques***
  - Le principe général de ce jeu est de détruire, à l'aide d'une balle, un ensemble de briques se trouvant dans la partie supérieure de l'écran.
  - Pour cela, le joueur contrôle une raquette qu'il peut seulement déplacer sur un axe horizontal au bas de l'écran.
  - Le but est d'empêcher la balle de franchir cette ligne en la frappant avec la raquette.
  - Si le joueur ne parvient pas à rattraper la balle :
    - il perd la partie. Cela se traduit par un écran rouge pendant quelques secondes.
    - La balle est alors remise en jeu pour donner une nouvelle chance au joueur.
  - Si le joueur parvient à casser toutes les briques,
    - La partie est gagnée. L'écran devient entièrement vert.
    - Pour recommencer une partie, il faut réinitialiser le jeu en faisant un Reset de la console
  - Il y a par ailleurs plusieurs options de jeu :
    - Réglage de la taille de la raquette
    - Réglage de la vitesse de la balle
  - Mise en pause du jeu

- ***Pong***
  - Pong est une simulation simpliste de tennis de table (ping-pong) qui se joue à deux.
    - Le 1er joueur utilise l'encodeur rotatif de la PMC-E201 configurée en mode Console.
      - Il contrôle ainsi la raquette située à gauche de l'écran
    - Le 2ème joueur utilise l'encodeur rotatif d'une autre PMC-E201, configurée en mode Manette, et reliée à l'autre PMC-E201 via le port série.
      - Le 2ème joueur contrôle la raquette située à droite de l'écran.
  - Une balle se déplace à travers l'écran, rebondissant sur les rebords du haut et du bas
  - Les deux joueurs commandent chacun une raquette, la faisant glisser verticalement entre les extrémités de l'écran.
  - Si la balle frappe la raquette, elle rebondit vers l'autre joueur.
  - Si le joueur manque la balle avec sa raquette, il perd la partie. Cela se traduit par un écran rouge pendant quelques secondes.
  - Il y a par ailleurs plusieurs options de jeu :
    - Réglage de la taille de la raquette
    - Réglage de la vitesse de la balle
    - Insertion d'un obstacle mobile au milieu de l'écran. Si la balle rebondit contre cet obstacle, elle repart dans le sens inverse.
    - Mise en pause du jeu

3) Interface joueur

L'interface joueur de la PMC-E201 est composée de (Figure 5):

- 4 interrupteurs :
  - ***S3, S2, S1*** et ***S0***.
  - ***S3*** est l'interrupteur le plus à gauche.
- 4 boutons poussoirs
  - ***Nord, Sud, Est, Ouest***
- 1 encodeur rotatif
  - Il tourne vers la gauche ou vers la droite
  - Il est également équipé d'un bouton poussoir

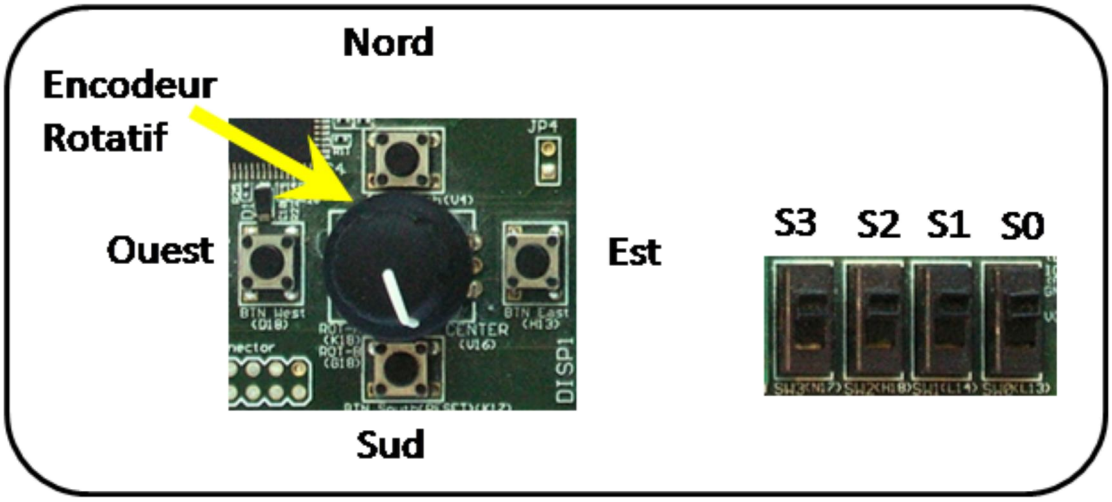


Figure 5 : Interface joueur de la PMC-E201

- ***Commandes générales de la PMC-E201***
  - ***S0*** : Commande Marche/Arrêt de la console
    - Interrupteur vers le bas → Arrêt
    - Interrupteur vers le haut → Marche
  - ***Ouest*** : Reset système
    - Actif si on appuie sur le bouton
    - Permet de redémarrer une nouvelle partie de Casse Briques après une partie gagnée.
  - ***Sud***: Sélection du mode de la PMC-E201
    - L'appui sur le bouton permet de passer du mode Console au mode Manette et inversement.
  - ***Nord*** ou ***Est***: Sélection du jeu actif
    - L'appui sur l'un des boutons permet de passer du jeu Casse Briques au jeu Pong et inversement.
  - ***Bouton poussoir de l'encodeur rotatif*** : Mise en pause du jeu.
    - L'appui sur le bouton permet de mettre le jeu en pause.
    - Un nouvel appui permet de reprendre le jeu.

- ***Commandes communes aux deux jeux***
    - ***S3*** : Commande de la taille des raquettes
        - Interrupteur vers le bas → Raquettes courtes
        - Interrupteur vers le haut → Raquettes longues
    - ***S2*** : Commande de la vitesse de la balle
        - Interrupteur vers le bas → Vitesse lente
        - Interrupteur vers le haut → Vitesse rapide

- ***Commande spécifique au jeu Casse Briques***
    - ***Encodeur rotatif***: Déplacement horizontal de la raquette
        - La raquette prendra une direction selon le sens de rotation de l'encodeur.

- ***Commandes spécifiques au jeu Pong***
    - ***Encodeur rotatif (pour les deux joueurs)***: Déplacement vertical de la raquette
        - La raquette prendra une direction selon le sens de rotation de l'encodeur.
    - ***S1*** : Ajout d'un obstacle mobile
        - Interrupteur vers le bas → Pas d'obstacle
        - Interrupteur vers le haut → Présence d'un obstacle

Figure 6 – La Magnavox Odyssey, 1ère console vidéo (1972)

4) Plate-forme matérielle

La console de jeux PMC-E201 est implémentée sur une carte Xilinx Spartan 3E (Figure 7).

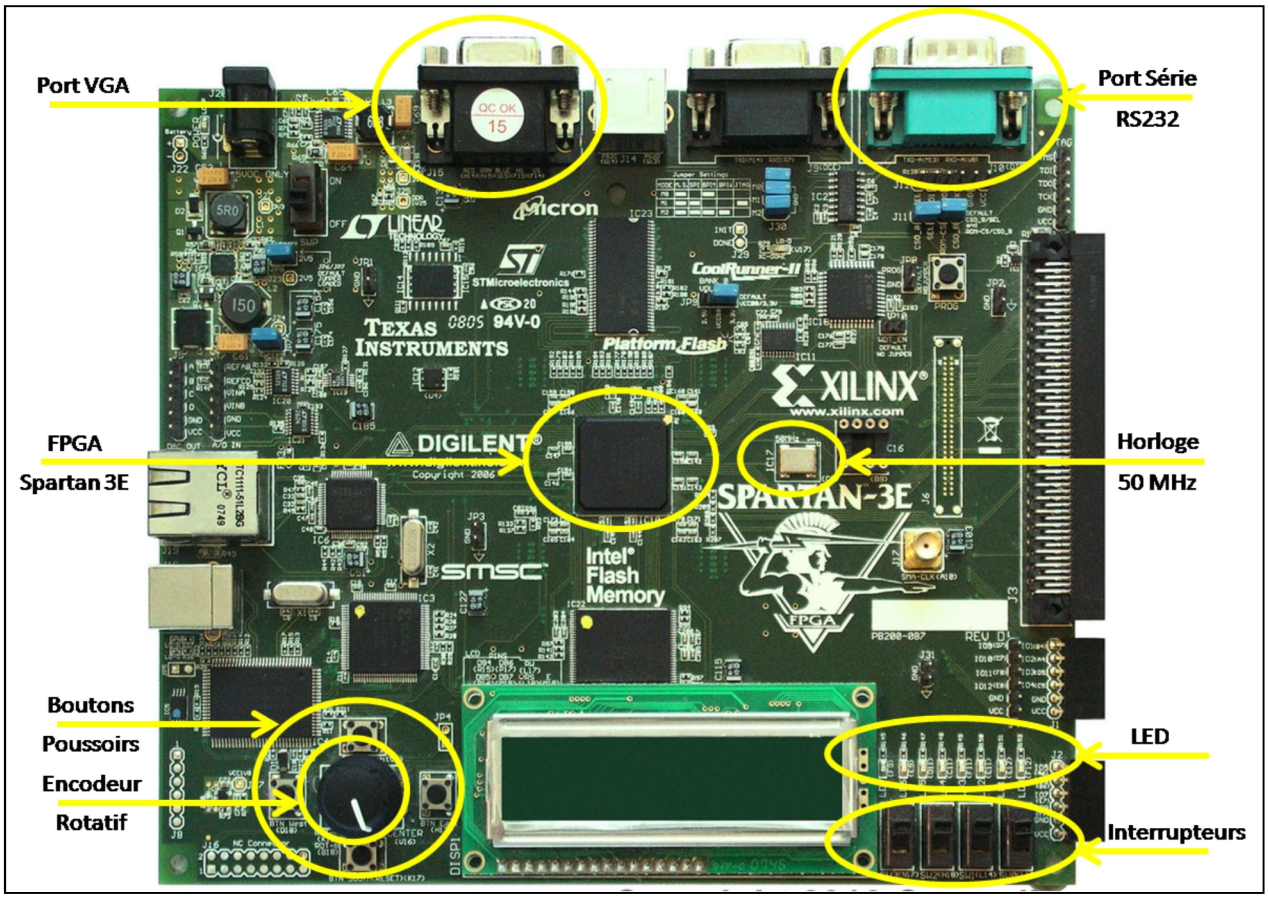


Figure 7 – Carte Spartan 3E

Cette carte dispose des éléments suivants

- **FPGA Spartan 3E**
  - Ce composant programmable contient toute l'architecture numérique de la console
- **Horloge 50 MHz**
  - Ce composant est utilisé pour cadencer le système implémenté dans le FPGA
- **Encodeur Rotatif**
  - Ce module sert de manette de jeu et permet - en fonction du sens de rotation - de déplacer les objets du jeu dans une direction donnée. Il possède en outre un bouton poussoir
- **Boutons Poussoirs**
  - La carte dispose de 4 boutons poussoirs, disposés autour de l'encodeur rotatif (Nord, Sud, Est, Ouest). Ils permettent de paramétrer l'activité de la console
- **Interrupteurs**
  - Ces 4 interrupteurs permettent également de paramétrer l'activité de la console
- **LED**
  - Ces 8 LED indiquent si la PMC-E201 est en mode console ou manette.
- **Port Série RS232**
  - Il permet d'échanger des données en série, au protocole RS232, avec une autre PMC-E201.
- **Port VGA**
  - Ce connecteur permet à la carte d'envoyer des signaux vidéo vers un écran VGA.

5) Architecture générale du FPGA

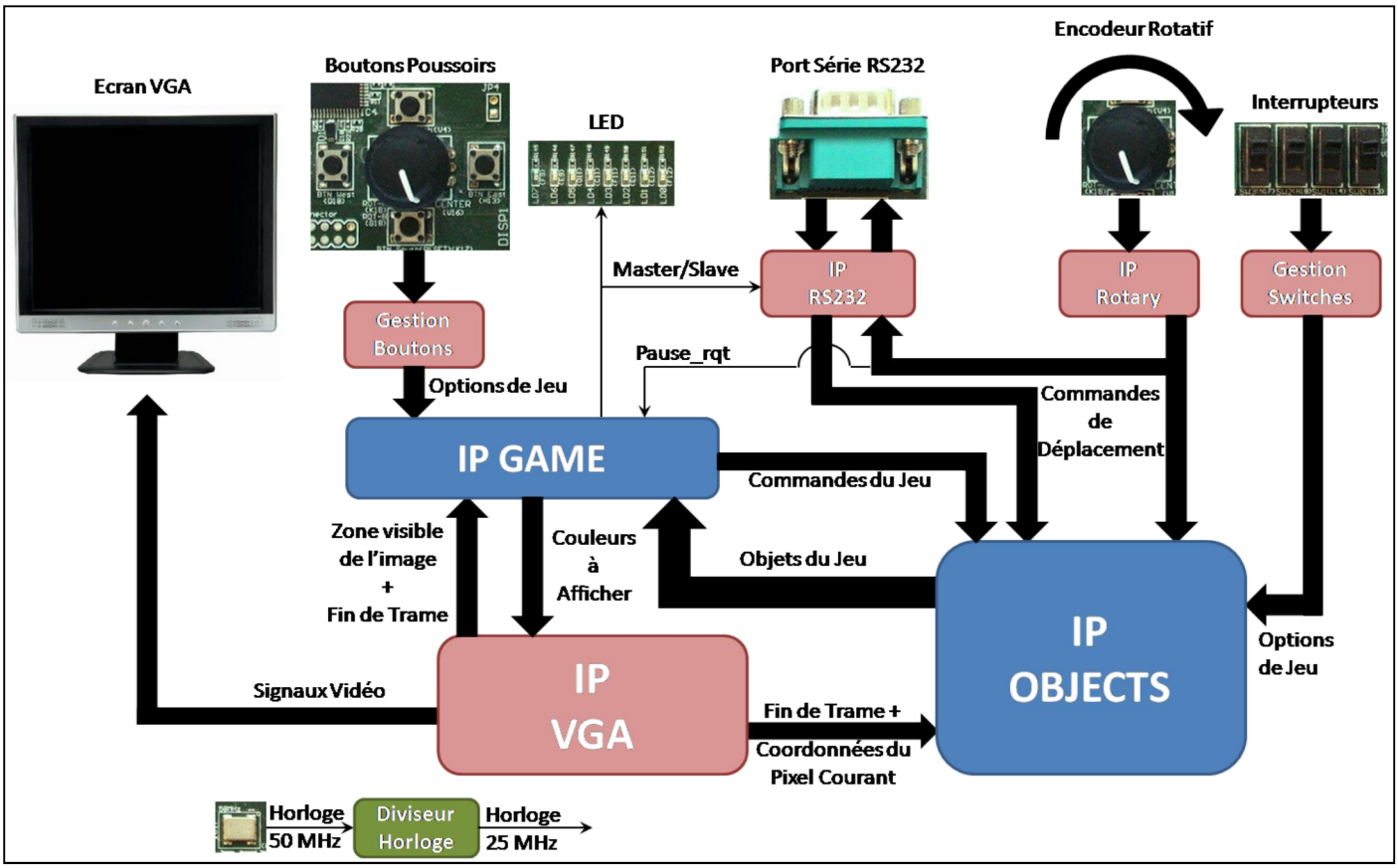


Figure 8 – Architecture interne du FPGA

L'architecture de la console implémentée dans le FPGA est donnée en Figure 8. On distingue dans ce schéma-blocs simplifié 8 modules.

1) Diviseur Horloge

- Ce module a pour but de diviser par 2 la fréquence de l'horloge 50 MHz fournie par la carte. L'horloge en sortie a donc une fréquence de 25 MHz. Elle cadencera tous les autres modules de l'architecture

2) Gestion Boutons

- Ce module détecte les événements survenant sur les 4 boutons poussoirs et génère en conséquence plusieurs signaux pour modifier le comportement de la console (reset système, sélection mode console/manette, choix du jeu…)

3) Gestion Switches

- Ce module détecte les événements survenant sur les 4 interrupteurs et génère en conséquence plusieurs signaux pour modifier le comportement de la console (marche /arrêt du système, vitesse de la balle, taille des raquettes…)

4) IP Rotary

- Ce module détecte les événements survenant sur l'encodeur rotatif de la carte (rotary encoder en Anglais) et génère en conséquence des commandes de déplacement pour les objets du jeu (les raquettes) qui sont pilotés par cet encodeur.

5) IP RS232

- Ce module gère les échanges de données au format RS232 entre deux cartes PMC-E201
    - Quand la PMC-E201 est en mode manette, l'IP envoie les commandes de déplacement générées par l'encodeur rotatif de la carte.
    - Quand la PMC-E201 est en mode console, l'IP reçoit les commandes de déplacement transmises par la manette qui a été connectée à son port RS232. Ces commandes de déplacement permettent de piloter la deuxième raquette du jeu Pong.

6) IP VGA

- Ce module envoie à l'écran VGA les signaux vidéo permettant d'afficher les images du jeu. La couleur des pixels est donnée en entrée par le module **IP Game**.
- Le module transmet également aux autres blocs de l'architecture des informations sur l'image qui est en train d'être affichée (coordonnées du pixel courant, fin de l'image…)

7) IP Objects

- Ce module a pour but de générer tous les objets nécessaires au jeu Pong ou Casse-Briques (Raquettes, balle, murs, briques…). Pour cela, il prend en entrée :
    - Des commandes de jeu transmises par **IP Game** et **Gestion Switches**
    - Des commandes de déplacement transmises par **IP Rotary** et **IP RS232**
    - Des informations sur l'image à afficher transmises par **IP VGA**.

8) IP Game

- Ce module génère :
    - Des commandes vers **IP Objects**, **IP RS232** et les **LED** donnant le comportement général de la PMC-E201 (mode console/manette, choix du jeu, mode pause…)
    - La couleur du pixel à afficher. Cette information est transmise à **IP VGA**.
- Pour cela, il reçoit en entrée des informations provenant des autres modules du système.

ARCHITECTURE DETAILLEE DE LA CONSOLE PMC-E201

IMPORTANT - Il est à noter que

1) ***Toutes les horloges sont actives sur leur front montant***
2) ***Tous les resets asynchrones sont actifs au niveau bas***
3) ***Sauf mention contraire, les autres commandes sont actives au niveau haut.***

1) Diviseur Horloge

Rôle : Diviseur par 2 de l'horloge fournie en entrée

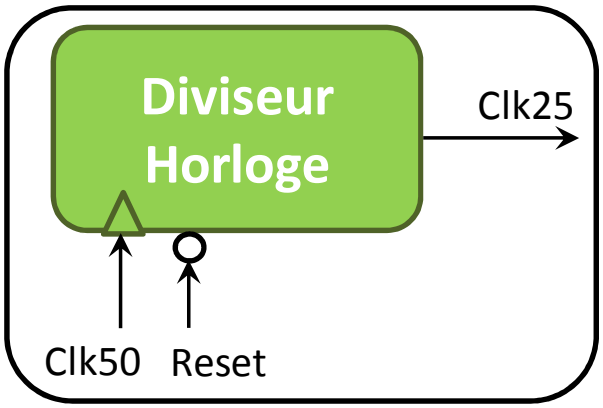


Figure 9 – Vue externe du module Diviseur Horloge

Entrées :

- ***Clk50*** : Horloge 50 MHz fournie par la carte
- ***Reset*** : Reset asynchrone

Sortie :

- ***Clk25*** : Horloge de sortie à 25 MHz

Fonctionnement :

- A chaque front de l'horloge ***Clk50***, on inverse le niveau logique de l'horloge ***Clk25***

2) Gestion Boutons

Rôle : Ce bloc permet la gestion des 4 boutons poussoirs de la carte Spartan 3E. Selon les cas, il va indiquer le niveau logique ou bien si l'on a appuyé sur l'un de ces boutons. La disposition des boutons et interrupteurs de la carte est donnée en Figure 109.

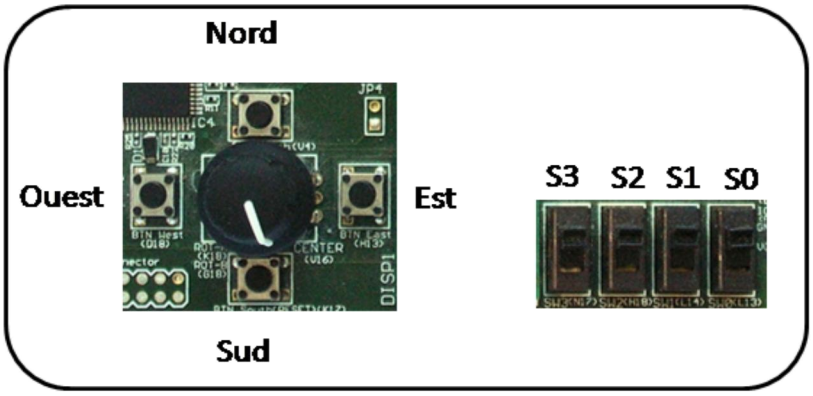


Figure 10 - Disposition des boutons poussoirs et des interrupteurs

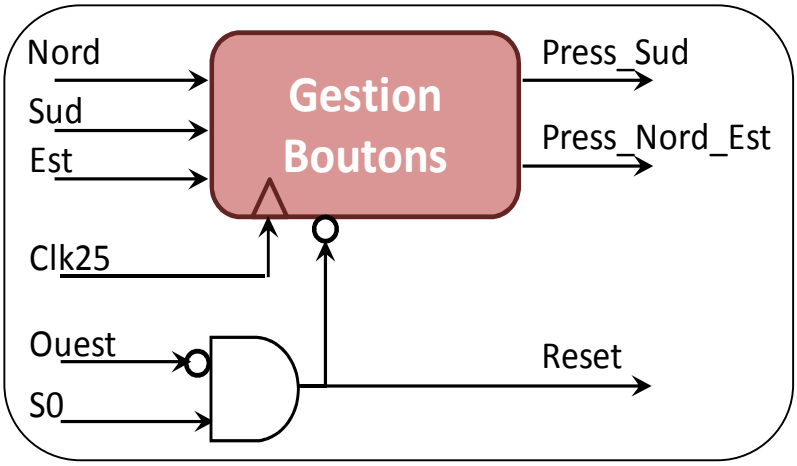


Figure 11 – Vue externe du module Gestion Boutons

Entrées :

- ***Clk25*** : Horloge 25MHz
- ***Nord, Sud, Est, Ouest***: Boutons poussoirs
- ***S0***: Interrupteur

Sorties :

- ***Reset***: Reset asynchrone du système
- ***Press_Sud***: Détection de l'appui sur le bouton Sud
- ***Press_Nord_Est***: Détection de l'appui sur le bouton Nord ou le bouton Est

Fonctionnement :

- Le ***Reset*** (actif au niveau bas) est activé si l'une de ces deux conditions est remplie :
  - L'interrupteur ***S0*** est tiré vers le bas (niveau logique 0)
  - L'interrupteur ***S0*** est tiré vers le haut et le bouton poussoir ***Ouest*** est appuyé (niveau logique haut)

  ➢ L'interrupteur ***S0*** sert ainsi de commande Marche/Arrêt de la console PMC-E201

- La commande ***Press_Sud*** est activée pendant un cycle d'horloge dès que l'on détecte un appui sur le bouton ***Sud***. La commande repasse ensuite automatiquement à 0
- La commande ***Press_Nord_Est*** est activée pendant un cycle d'horloge dès que l'on détecte un appui sur l'un des deux boutons ***Nord*** ou ***Est***. La commande repasse ensuite automatiquement à 0

- Gestion de l'anti-rebond des boutons ***Nord***, ***Sud*** et ***Est***.
  - Dès que l'on détecte que l'un des 3 boutons est appuyé, une temporisation est déclenchée. Pendant cette temporisation, on ne peut plus détecter d'autre action sur les boutons poussoirs.
  - A la fin de cette temporisation, le mécanisme de détection est réamorcé dès que le bouton sur lequel on a appuyé a été relâché.

➢ ***Press_Sud*** servira à faire un changement pour passer la PMC-E201 du mode Console au mode Manette.
➢ ***Press_Nord_Est*** servira à demander un changement du jeu sur la console (Casse Briques ou Pong)

3) Gestion Switches

Rôle : Ce bloc permet la gestion des interrupteurs S3, S2 et S1 (S0 est utilisé dans l'IP Gestion Boutons). Il permet de fixer des options pour les jeux Casse-Briques et Pong

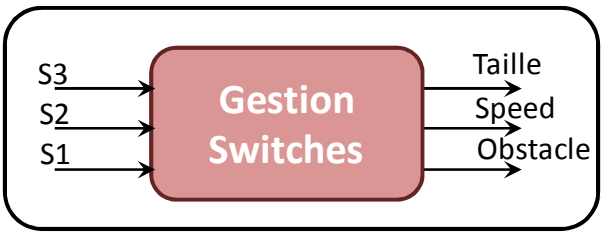


Figure 12 – Vue externe du module Gestion Switches

Entrées :

- ***S3, S2, S1***: Interrupteurs de la carte Spartan 3E

Sorties :

- ***Taille***: Fixe la taille des raquettes
- ***Speed***: Fixe la vitesse de la balle
- ***Obstacle***: Ajoute un obstacle mobile au milieu de l'écran (Jeu Pong uniquement)

Fonctionnement :

- Chacune des trois sorties est directement connectée à l'un des interrupteurs de la carte. Le couplage Interrupteur ↔ Sortie ainsi que leur rôle respectif est donné dans le tableau ci-dessous.

Interrupteur	Sortie Associée	Niveau Logique	Action	Valable pour les jeux
S3	Taille	0	Raquette Courte	Casse-Brique + Pong
		1	Raquette Longue	
S2	Speed	0	Balle Lente	Casse-Brique + Pong
		1	Balle Rapide	
S1	Obstacle	0	Pas d'obstacle	Pong
		1	Ajout d'un obstacle mobile	

Table 1 : Fonctionnalité des interrupteurs S3, S2 et S1

4) IP Rotary

Rôle : Ce bloc permet la gestion de l'encodeur rotatif de la carte Spartan 3E. Il génère les commandes de déplacement (rotation vers la gauche ou vers la droite) ainsi qu'un signal indiquant l'état du bouton poussoir de l'encodeur. Ces signaux sont utilisés par la suite pour piloter la raquette du jeu Casse-Briques, ainsi que la raquette gauche du jeu Pong.

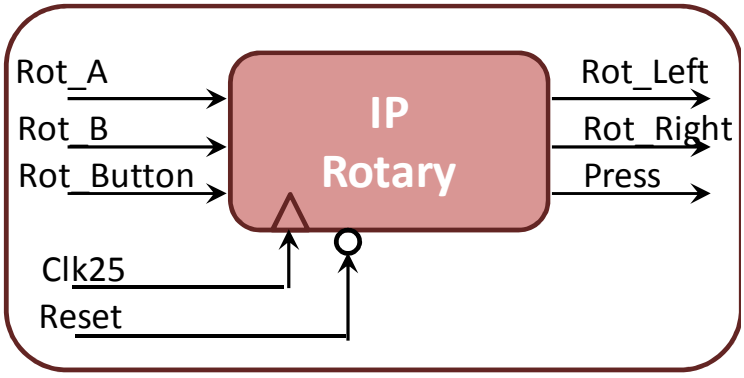


Figure 13 – Vue externe du module IP Rotary

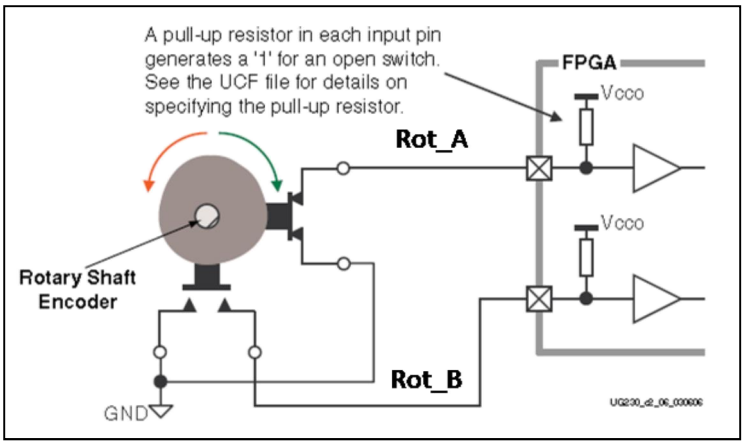


Figure 14 – Fonctionnement de l'encodeur rotatif

Entrées :

- ***Clk25*** : Horloge 25 MHz
- ***Reset*** : Reset asynchrone
- ***Rot_A***: 1er Interrupteur de l'encodeur
- ***Rot_B***: 2ème Interrupteur de l'encodeur
- ***Rot_Button***: Bouton de l'encodeur

Sorties :

- ***Rot_Left***: Commande de rotation à gauche
- ***Rot_Right***: Commande de rotation à droite
- ***Press***: Commande d'appui sur le bouton

Les signaux ***Rot_A*** et ***Rot_B*** sont générés par des interrupteurs situés sur l'encodeur. Leur état dépend des rotations de l'encodeur (voir Figure 14). Selon l'évolution des niveaux logiques de ***Rot_A*** et ***Rot_B*** (Par exemple, est-ce que ***Rot_A*** passe au niveau haut avant ou après ***Rot_B*** ?), il est possible de déterminer le sens de rotation de l'encodeur.

Fonctionnement

- Le module **IP Rotary** est composé de deux sous-blocs
  - **Rotary** gère les signaux issus de l'encodeur rotatif
  - **Move** est une Machine à Etats qui génère les commandes de déplacement ***Rot_Left*** et ***Rot_Right***

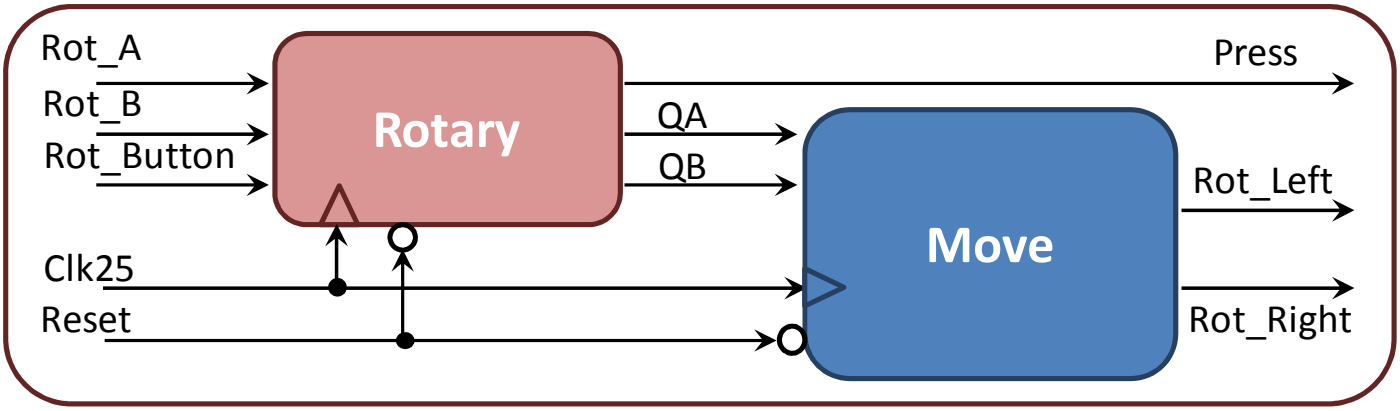


Figure 15 – Architecture interne du module IP Rotary

Fonctionnement de Rotary

- Ce sous-module a deux fonctions
  - Echantillonnage des trois signaux de l'encodeur rotatif
  - Génération des signaux ***QA*** et ***QB***, qui filtrent les signaux ***Rot_A*** et ***Rot_B*** de la façon suivante
    - ***QA*** passe à 1 si les deux signaux ***Rot_A*** et ***Rot_B*** sont à 1
    - ***QA*** passe à 0 si les deux signaux ***Rot_A*** et ***Rot_B*** sont à 0
    - ***QB*** passe à 1 si le signal ***Rot_A*** est à 0 et le signal ***Rot_B*** est à 1
    - ***QB*** passe à 0 si le signal ***Rot_A*** est à 1 et le signal ***Rot_B*** est à 0

Fonctionnement de Move

- Ce sous-module est une machine à états.
  - Elle prend en entrée les signaux ***QA*** et ***QB*** et génère les sorties ***Rot_Left*** et ***Rot_Right***.
- Le graphe d'états est établi de la façon suivante.
  - On prend ***QA*** comme signal de référence. Une commande ***Rot_Left*** ou ***Rot_Right*** est générée uniquement si on a détecté un changement d'état sur ***QA.***
  - Le sens de rotation va alors dépendre de ***QB***
    - Si ***QA*** change d'état AVANT ***QB***, cela correspond à une rotation à gauche du codeur
      - On met ***Rot_Left*** à 1 pendant un cycle d'horloge
    - Si ***QA*** change d'état APRES ***QB***, cela correspond à une rotation à droite du codeur
      - On met ***Rot_Right*** à 1 pendant un cycle d'horloge

5) IP RS232

Rôle : Ce bloc assure la gestion de la communication RS232, en émission comme en réception. Le sens de communication dépend du mode de fonctionnement de la PMC-E201.

- En mode Console, on va recevoir des données transmises par une autre carte
- En mode Manette, on va émettre des données vers une autre carte.

Dans les deux cas, les données transmises sont des commandes de déplacement générées par un encodeur rotatif (celui de la carte ou bien celui d'une carte connectée via le port RS232)

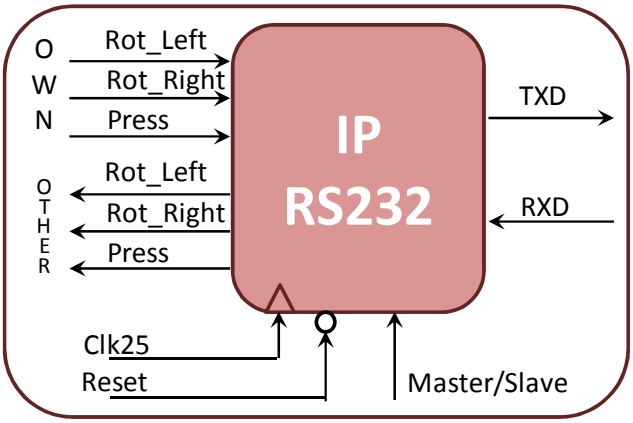


Figure 16 – Vue externe du module IP RS232

Entrées :

- ***Clk25*** : Horloge 25 MHz
- ***Reset*** : Reset asynchrone
- ***Master_Slave*** : Indique si la PMC-E201 est en mode Console (Maître) ou Manette (Esclave)
- ***Own_Rot_Left, Own_Rot_Right, Own_Press***: Commandes de l'encodeur rotatif de la carte
- ***RXD***: Entrée série au protocole RS232

Sorties :

- ***Other_Rot_Left, Other_Rot_Right, Other_Press***: Commandes de l'encodeur rotatif de la manette reliée à la PMC-E201 via le port RS232.
- ***TXD***: Sortie série au protocole RS232

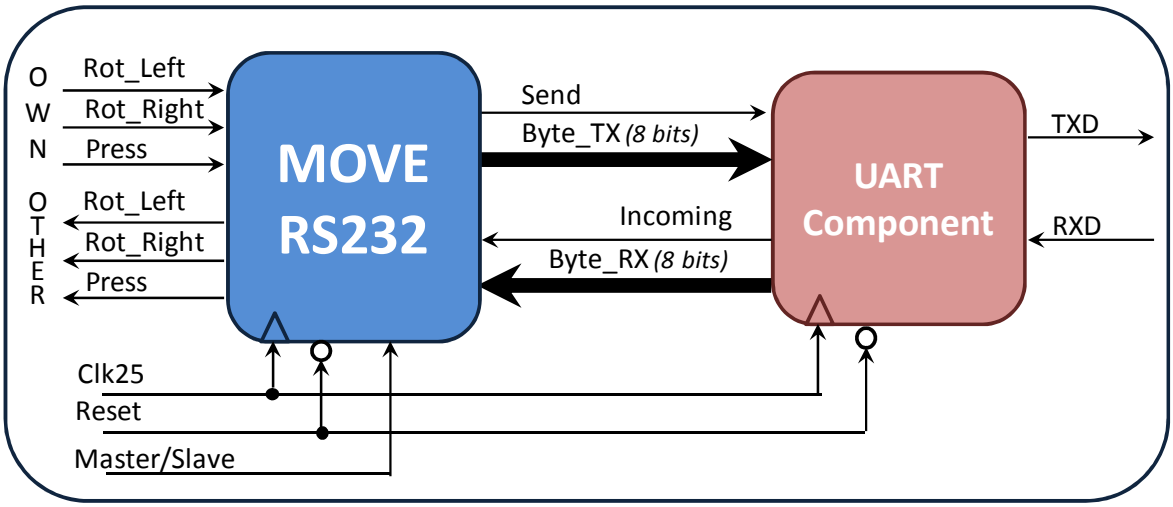


Figure 17 – Architecture interne du module IP RS232

Fonctionnement

- Le module **IP RS232** est composé de deux sous-blocs
  - **UART Component** gère la transmission RS232 et la conversion série/parallèle des données qui sont échangées via le port série.
  - **Move RS232** fait l'interface entre les octets transmis par **UART Component** et les commandes de déplacement qui sont utilisées par le reste du système.

- Dans le mode Console (***Master_Slave*** = 1)
    - L'émission RS232 est désactivée, seule la réception de données est possible.
    - Lorsque **UART Component** reçoit une donnée via son entrée série ***RXD***
        - L'octet reçu est mis sur ***Byte_RX*** et on positionne ***Incoming*** à 1 pendant 1 cycle.
        - Le module **Move RS232** récupère la donnée sur ***Byte_RX*** et après analyse, génère une commande de déplacement
            - ***Other_Rot_Left*** = 1 si le message reçu correspond à une rotation vers la gauche de l'encodeur de la carte connectée au port RS232.
            - ***Other_Rot_Right*** = 1 si le message reçu correspond à une rotation vers la droite de l'encodeur de la carte connectée au port RS232.
            - ***Other_Press***= 1 si le message reçu correspond à un appui sur le bouton de l'encodeur de la carte connectée au port RS232.
        - Cette commande de déplacement n'est active que pendant un seul cycle.
        - Dans le même temps, on débute une temporisation pour éviter des transmissions parasites. Une fois la temporisation terminée, le module peut à nouveau recevoir un message.

- Dans le mode Manette (***Master_Slave*** = 0)
    - La réception RS232 est désactivée, seule l'émission de données est possible.
    - Lorsque **Move RS232** reçoit une commande de déplacement provenant de ***Own_Rot_Left***, ***Own_Rot_Right*** ou ***Own_Press***
        - On génère un octet sur ***Byte_TX***. Cet octet correspond à un message à transmettre via le port RS232. Sa valeur dépend de la commande de déplacement en entrée de **Move RS232**.
        - Dans le même temps, on active la commande ***Send*** afin que le module **UART Component** envoie le message contenu dans ***Byte_TX***.
        - **UART Component** transmet alors le message en série sur la sortie **TXD**.

6) IP VGA

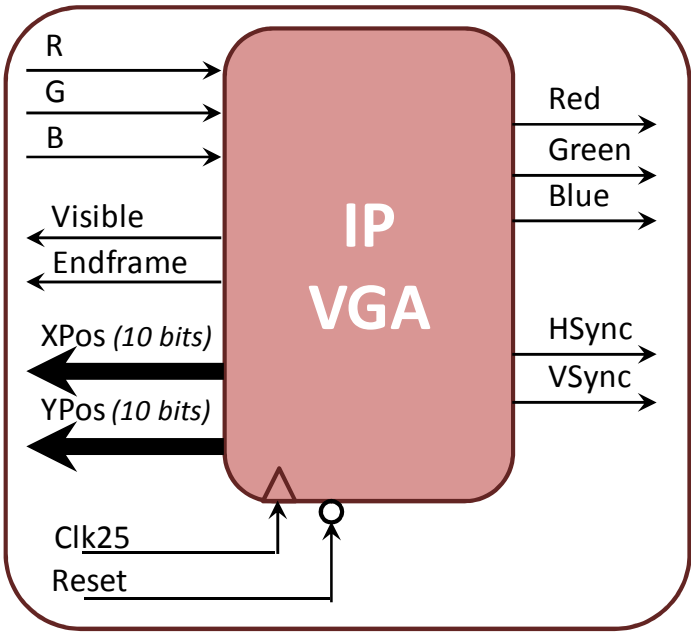


Figure 18 – Vue externe du module IP VGA

Entrées :

- ***Clk25*** : Horloge 25 MHz
- ***Reset*** : Reset asynchrone
- ***R,G,B***: Niveaux de Rouge (R), Vert (G) et de Bleu (B) souhaités pour le pixel à afficher

Sorties :

- ***Red, Green, Blue***: Couleur du pixel. Signaux transmis à l'écran VGA.
- ***HSync, VSync***: Synchronisation horizontale et verticale. Transmis à l'écran VGA. Signaux actifs à l'état bas.
- ***XPos, YPos***: Coordonnées X,Y du pixel courant
- ***Visible***: Signal indiquant que le pixel courant appartient à la zone visible de l'image
- ***Endframe***: Signal indiquant que le pixel courant est le dernier de l'image visible

Rôle : Ce bloc envoie à l'écran VGA les signaux vidéo permettant d'afficher les images du jeu. Il fournit également aux autres blocs du système des informations telles que les coordonnées du pixel courant, la fin de l'image…

Fonctionnement

- L'image VGA est composée d'une matrice de pixels organisés en 521 lignes et 800 colonnes.
- Une partie de cette matrice (480 lignes et 640 colonnes) constitue la zone visible de l'image. Le reste de l'image correspond à une zone de synchronisation.
- Le module **IP VGA** est organisé autour d'un double compteur qui calcule le numéro de ligne et de colonne du pixel affiché à l'écran. La valeur de ces deux compteurs est disponible en sortie dans ***XPos*** et ***YPos***. Les tableaux ci-dessous donnent la correspondance entre les numéros de ligne/colonne et la zone de l'image.
    - Le pixel de coordonnées (0,0) est situé en haut à gauche de l'écran.

Numéro de Colonne	Zone de l'Image	Valeur de HSync
0 → 639	Visible	1
640 →664	Pré-Synchronisation	1
665 → 759	Synchronisation	0
760 → 799	Post-Synchronisation	1

Tab.2 : Zone de l'image en fonction des colonnes

Numéro de Ligne	Zone de l'Image	Valeur de VSync
0 → 479	Visible	1
480 →489	Pré-Synchronisation	1
490 → 491	Synchronisation	0
492 → 520	Post-Synchronisation	1

Tab.3 : Zone de l'image en fonction des lignes

- Le signal ***Visible*** passe à 1 lorsque le pixel courant appartient à la zone visible de l'image
- Le signal ***Endframe*** est activé lorsque l'on affiche le dernier pixel de la zone visible de l'image
- La couleur de chaque pixel (sorties ***Red***, ***Green*** et ***Blue***) est fixée directement à partir des entrées ***R***, ***G*** et ***B*** (voir Table 4).

Red	Green	Blue	Couleur Affichée
0	0	0	Noir
0	0	1	Bleu
0	1	0	Vert
0	1	1	Cyan
1	0	0	Rouge
1	0	1	Magenta
1	1	0	Jaune
1	1	1	Blanc

Tab.4 : Code couleur de l'IP VGA

7) IP Objects

Rôle : Ce module a pour objectif d'indiquer si le pixel courant de l'image appartient à l'un des objets affichés dans le jeu Casse Briques ou Pong (Raquettes, balle, murs, briques…)

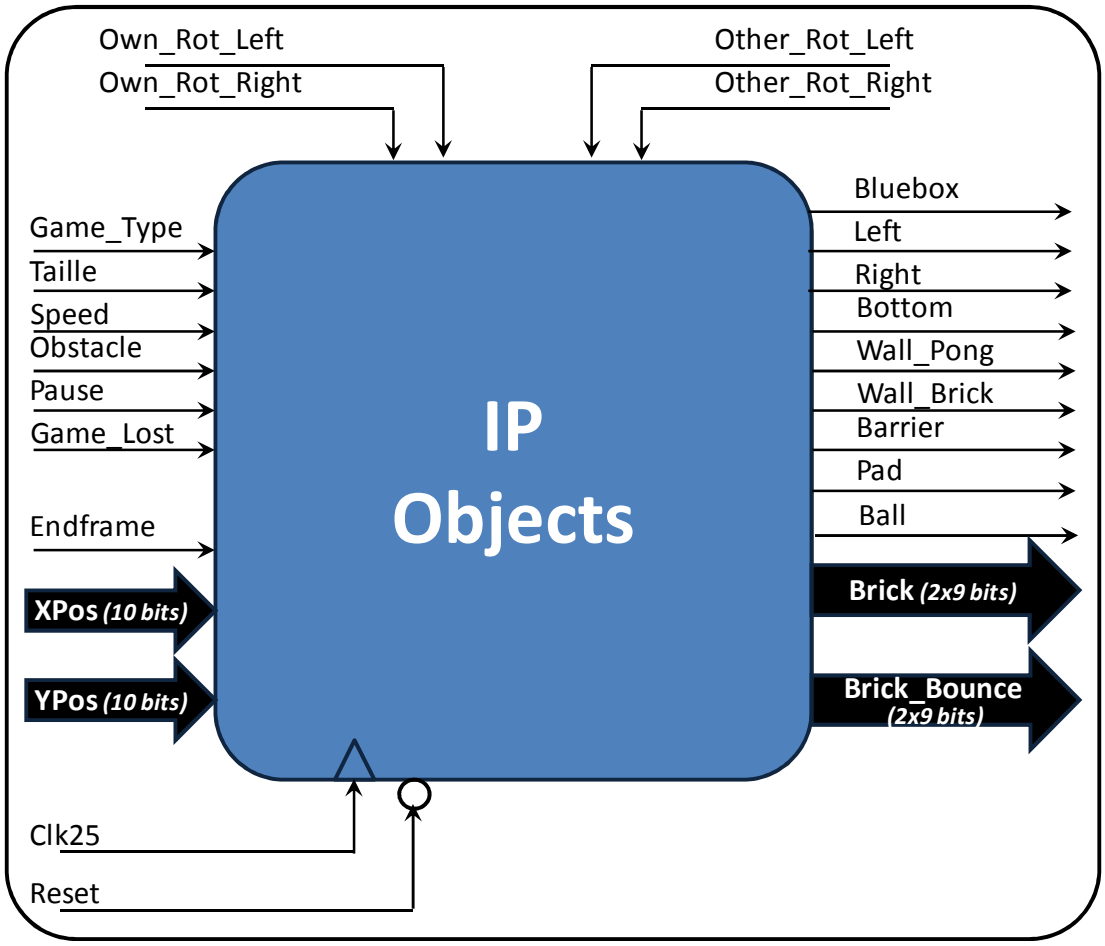


Figure 19 – Vue externe du module IP Objects

Entrées :

- ***Clk25*** : Horloge 25 MHz
- ***Reset*** : Reset asynchrone
- ***Signaux de l'IP VGA***
  - ***XPos, Ypos***: Coordonnées en X et en Y du pixel courant
  - ***Endframe***: Signal de fin de la zone visible de l'image
- ***Commandes de déplacement des encodeurs rotatifs***
  - ***Own_Rot_Left, Own_Rot_Right***: Commandes de l'encodeur rotatif de la carte
  - ***Other_Rot_Left, Other_Rot_Right***: Commandes de la manette reliée à la PMC-E201 via le RS232.
- ***Paramètres de Jeu***
  - ***Game_Type***: Type de Jeu actif (Casse Briques ou Pong)
  - ***Taille***: Taille des raquettes du jeu (Raquettes courtes ou longues)
  - ***Speed***: Vitesse de la balle (Lente ou rapide)
  - ***Obstacle***: Présence d'un obstacle mobile au milieu de l'écran (Jeu Pong uniquement)
  - ***Pause***: Jeu en mode pause
  - ***Game_Lost***: Signal indiquant que la partie est perdue.

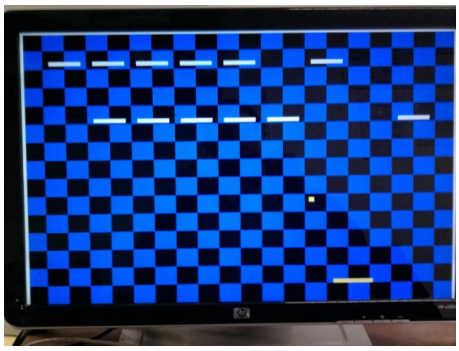
Sorties :

- ***Bluebox***: Indique que le pixel appartient à une case bleue du décor
- ***Left, Right, Bottom***: Indique que le pixel se trouve sur le bord gauche, droit ou bas de l'écran
- ***Wall_Pong, Wall_Brick***: Indique que le pixel appartient à l'un des murs du jeu Pong ou Casse Briques
- ***Barrier***: Indique que le pixel appartient à l'obstacle mobile du jeu Pong
- ***Pad***: Indique que le pixel appartient à une raquette
- ***Brick***: Indique que le pixel appartient à une des briques du jeu Casse Briques
- ***Brick_Bounce***: Indique les briques qui ont été percutées par la balle (jeu Casse Briques)
- ***Ball***: Indique que le pixel appartient à la balle

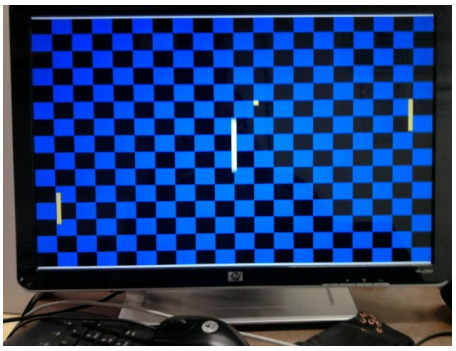
Fonctionnement général

- Le décor de fond est un damier bleu et noir, où chaque case a une dimension de 32x32 pixels.
- Chaque jeu dispose ensuite d'objets spécifiques

- Les objets du jeu Casse Briques sont les suivants
    - Trois murs blancs, situés en haut, à gauche et à droite de l'écran
    - Une raquette jaune, située en bas de l'écran et pouvant se déplacer horizontalement
    - Une balle jaune
    - Deux rangées de 9 briques blanches



- Les objets du jeu Pong sont les suivants
    - Deux murs blancs, situés en haut et en bas de l'écran
    - Deux raquettes jaunes, située à gauche et à droite de l'écran et pouvant se déplacer verticalement.
    - Une balle jaune
    - Un obstacle blanc situé au milieu de l'écran et se déplaçant verticalement (si l'option ***Obstacle*** est activée)



- La gestion de tous ces objets par le module **IP Objects** est réalisée grâce à 5 sous-modules.

1) **Decor :**
    - Gère le damier de fond d'écran (cases bleues)
    - Gère les rebords d'écran
    - Gère les murs
    - Gère l'obstacle mobile du jeu Pong
2) **Pad_Ctrl**
    - Gère les raquettes
3) **Brick_Ctrl**
    - Gère les briques du jeu Casse Briques
4) **Ball_Ctrl**
    - Gère la balle
5) **Bounce_Ctrl**
    - Gère les rebonds de la balle contre tous les autres objets

7.1) Module Decor

- Le sous-module **Décor** va activer ses sorties si le pixel dont les coordonnées sont données par ***XPos*** et ***YPos*** appartient à l'un des objets gérés par le sous-module.

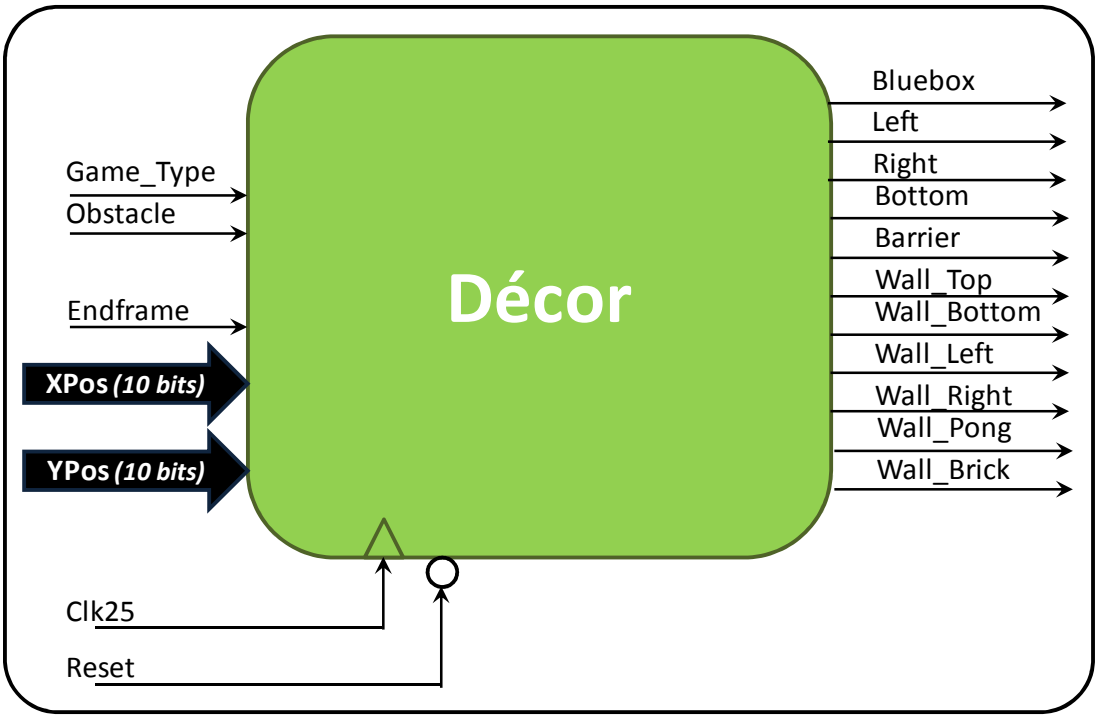


Figure 20 – Vue externe du sous-module Décor

- Les entrées/sorties de ce module sont en partie celles du module **IP Objects**. On trouve en plus 4 sorties spécifiques (***Wall_Top, Wall_Bottom, Wall_Left***, ***Wall_Right***).

- Le comportement des sorties est le suivant :
  - ***Bluebox*** est activée si l'on est dans une case de couleur bleue. Elle est désactivée si l'on est dans une case de couleur noire.
  - ***Left*** est activée si le jeu actif est Pong et que le pixel est sur le bord gauche de l'écran
  - ***Right*** est activée si le jeu actif est Pong et que le pixel est sur le bord droit de l'écran
  - ***Bottom*** est activée si le jeu actif est Casse Briques et que le pixel est sur la dernière ligne de l'écran
  - ***Wall_Top*** est activée si le pixel appartient au mur du haut.
  - ***Wall_Bottom*** est activée si le jeu actif est Pong et que le pixel appartient au mur du bas
  - ***Wall_Left*** est activée si le jeu actif est Casse Briques et que le pixel appartient au mur de gauche
  - ***Wall_Right*** est activée si le jeu actif est Casse Briques et que le pixel appartient au mur de droite
  - ***Wall_Pong*** est activée si le jeu actif est Pong et que le pixel appartient à l'un des murs de ce jeu.
  - ***Wall_Brick*** est activée si le jeu est Casse Briques et e le pixel appartient à l'un des murs de ce jeu
  - ***Barrier*** est activée si :
    - Le jeu actif est Pong
    - La commande ***Obstacle*** est activée
    - Le pixel appartient à l'obstacle mobile.
  - Les sorties sont automatiquement désactivées si elles correspondent à des objets qui n'appartiennent pas au jeu actif (Par exemple, ***Wall_Right*** est désactivé si le jeu est Pong).
  - L'obstacle se déplace verticalement de deux pixels à chaque image. Lorsqu'il atteint l'un des murs du haut ou du bas, son sens de déplacement est inversé.

7.2) Module Pad Ctrl

- Ce sous-module indique si le pixel courant de l'image appartient à l'une des raquettes des jeux de la console.

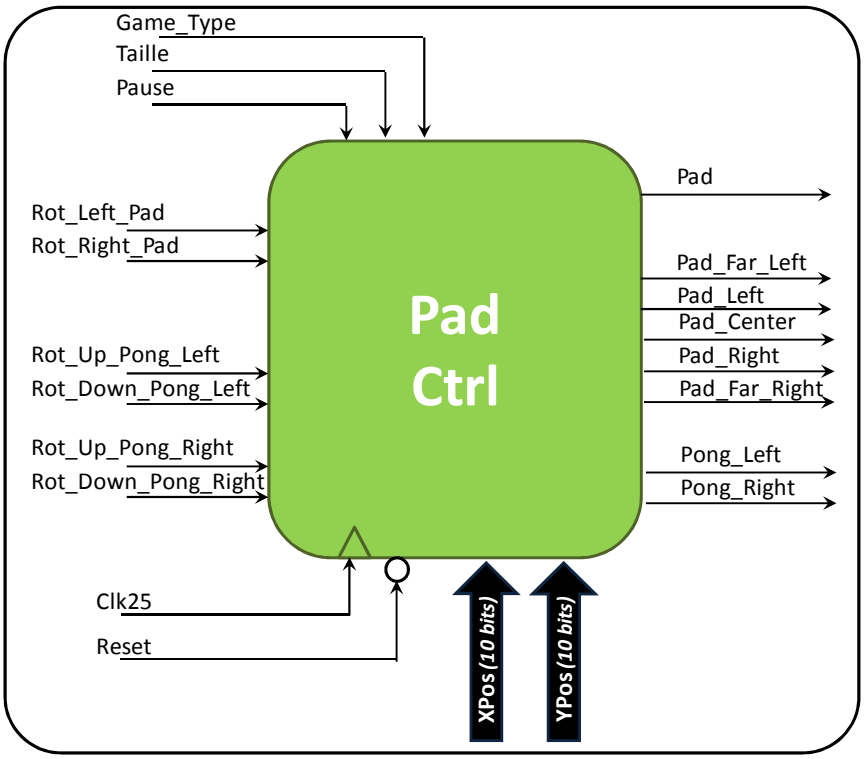


Figure 21 – Vue externe du sous-module Pad_Ctrl

- Les entrées/sorties de ce module sont en partie celles du module **IP Objects**.
- Les entrées ***Rot_Left_Pad*** et ***Rot_Right_Pad*** permettent de piloter la raquette du Jeu Casse Briques
  - Elles sont connectées aux signaux ***Own_Rot_Left*** et ***Own_Rot_Right*** du module **IP Objects**
  - Ces signaux ne sont pas pris en compte si le jeu actif est Pong
- Les entrées ***Rot_Up_Pong_Left*** et ***Rot_Down_Pong_Left*** commandent la raquette gauche du Jeu Pong
  - Elles sont connectées aux signaux ***Own_Rot_Left*** et ***Own_Rot_Right*** du module **IP Objects**
  - Ces signaux ne sont pas pris en compte si le jeu actif est Casse Briques
- Les entrées ***Rot_Up_Pong_Right*** et ***Rot_Down_Pong_Right*** commandent la raquette droite du Jeu Pong
  - Elles sont connectées aux signaux ***Other_Rot_Left*** et ***Other_Rot_Right*** du module **IP Objects**
  - Ces signaux ne sont pas pris en compte si le jeu actif est Casse Briques

- Le module **Pad_Ctrl** calcule en interne les coordonnées en X et en Y du premier pixel (en haut et à gauche de l'objet) des raquettes des différents jeux.
  - A partir de ce premier pixel, on délimite une zone rectangulaire.
  - La surface de la zone dépend du paramètre ***Taille***.
  - Si le pixel appartient à cette zone, on active l'une des sorties (***Pad_XXX*** ou ***Pong_XXX***).
- Le module gère également le déplacement des raquettes.
  - Si on reçoit en entrée une commande de déplacement, on modifie la coordonnée correspondante de la raquette concernée.
  - Le déplacement des raquettes est gelé si le paramètre ***Pause*** est activé.

- La sortie ***Pad*** indique que le pixel courant appartient à une raquette (peu importe le jeu).
- Les sorties ***Pong_Left*** et ***Pong_Right*** indiquent que le pixel courant appartient à l'une des raquettes de Pong.
- La raquette du jeu Casse Briques est divisée en 5 zones :
    - Extrême gauche, gauche, centre, droite, extrême droite.
    - Les sorties ***Pad_Far_Left***, ***Pad_Left***, ***Pad_Center***, ***Pad_Right*** et ***Pad_Far_Right*** indiquent que le pixel appartient à une des 5 zones.
    - Ces sorties ne sont pas actives si l'on joue à Pong

7.3) Module Brick_Ctrl

- Ce sous-module indique si le pixel courant de l'image appartient à l'une des briques du jeu Casse Briques.

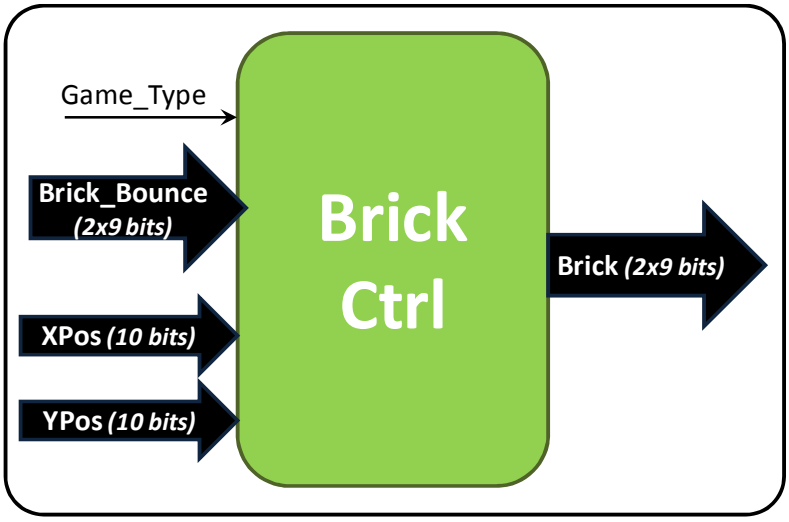


Figure 22 – Vue externe du sous-module Brick_Ctrl

- Les briques ont une position prédéfinie dans l'image. Elles sont réparties en 2 rangées de 9 briques.
    - La sortie ***Brick*** est donc organisée sous la forme d'un tableau de 2x9 bits.
    - Le bit ***Brick(i)(j)*** indique si le pixel courant appartient à la brique (i)(j).

- La sortie ***Brick(i)(j)*** est activée si :
    - Le jeu actif est Casse Briques,
    - Le pixel courant appartient à la zone de la brique (i)(j)
    - La balle n'a pas déjà rebondi contre la brique (l'entrée ***Brick_Bounce(i)(j)*** n'est pas activée)

7.4) Module Ball Ctrl

- Ce sous-module calcule les coordonnées de la balle et gère son déplacement en fonction de :
  - La vitesse de la balle fixée par le paramètre ***Speed***
  - Les rebonds contre les différents objets du jeu représentés par les entrées ***XXX_Bounce***.

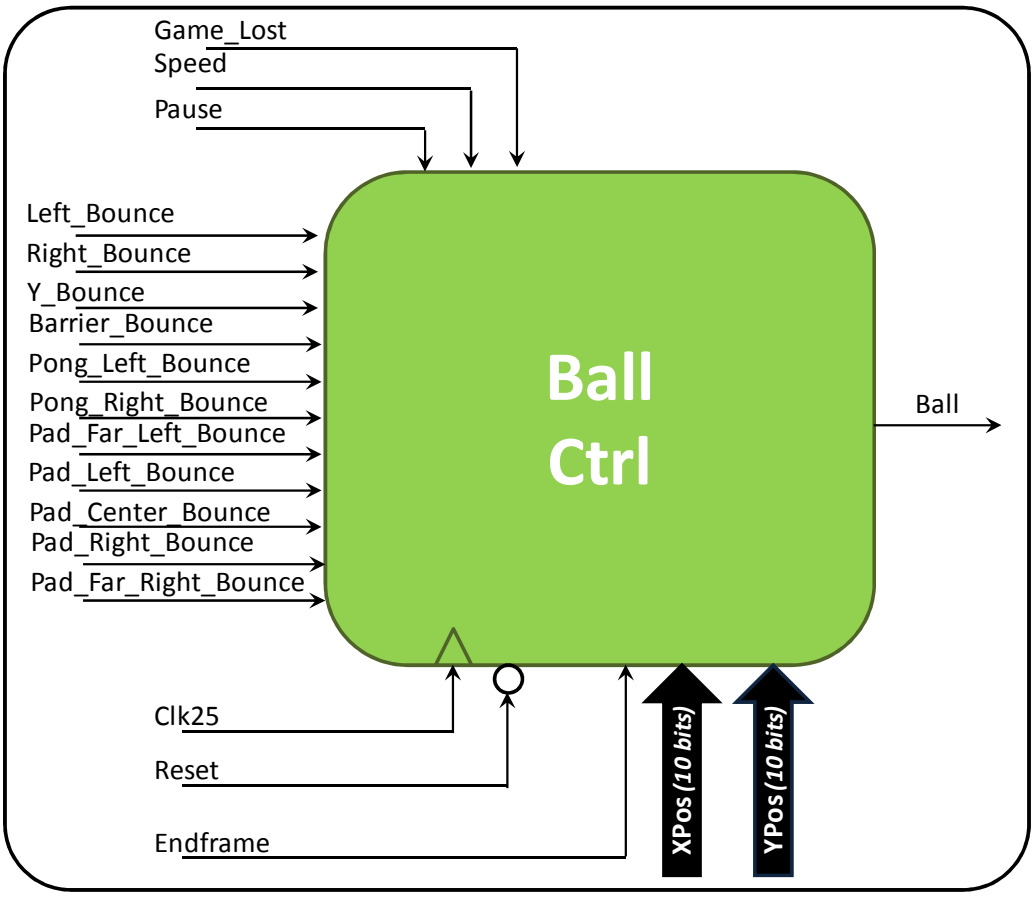


Figure 23 – Vue externe du sous-module Ball_Ctrl

- On calcule en interne les coordonnées en X et en Y du premier pixel (en haut et à gauche) de la balle.
  - A partir de ce 1er pixel, on détermine une zone carrée de 8x8 pixels
  - Si le pixel courant appartient à cette zone, on active la sortie ***Ball***.

- Les coordonnées de la balle sont mises à jour à chaque fin d'image (***Endframe***), sauf si le mode ***Pause*** est activé.
  - La mise à jour se fait en fonction de la trajectoire de la balle
  - Il y a 12 trajectoires possibles
  - La balle garde la même trajectoire tant qu'elle ne rebondit pas contre un autre objet.
  - En cas de rebond, on change la trajectoire de la balle
  - Si la partie est perdue (***Game_Lost***), alors on replace la balle à une position prédéterminée.
  - Pour plus d'informations sur les trajectoires de balle, voir le code VHDL…

7.5) Module Bounce_Ctrl

- Ce sous-module indique si la balle rebondit contre l'un des objets des jeux.

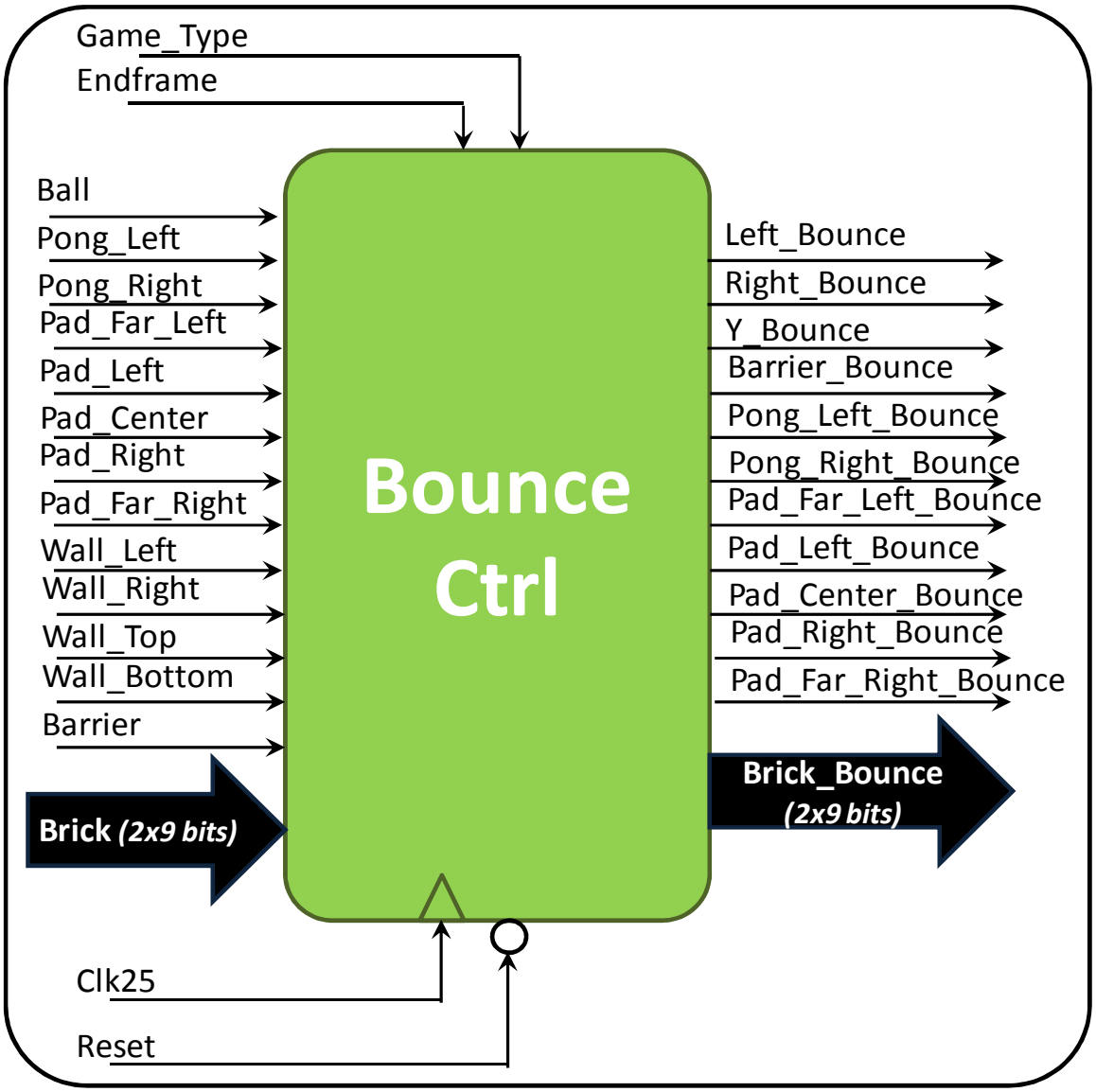


Figure 24 – Vue externe du sous-module Bounce_Ctrl

- Pendant que l'on balaie l'image (***Endframe*** n'est pas actif)
  - Si le pixel courant appartient en même temps à la balle et un objet XXX, on active la sortie ***XXX_Bounce***.
  - La sortie ***Brick_Bounce*** ne peut être activée que si le jeu actif est Casse Briques.

- Quand on arrive à la fin de l'image (***Endframe***)
  - Les sorties ***XXX_Bounce*** sont remises à zéro

8) IP Game

Rôle : Ce bloc contrôle le fonctionnement de la console ce qui consiste principalement à :

- Sélectionner le mode Console ou Manette pour la PMC-E201
- Sélectionner le jeu actif (Pong ou Casse Briques)
- Activer ou désactiver le mode Pause
- Indiquer si la partie est gagnée ou perdue

Il transmet également à l'IP VGA la couleur des objets que l'on souhaite afficher

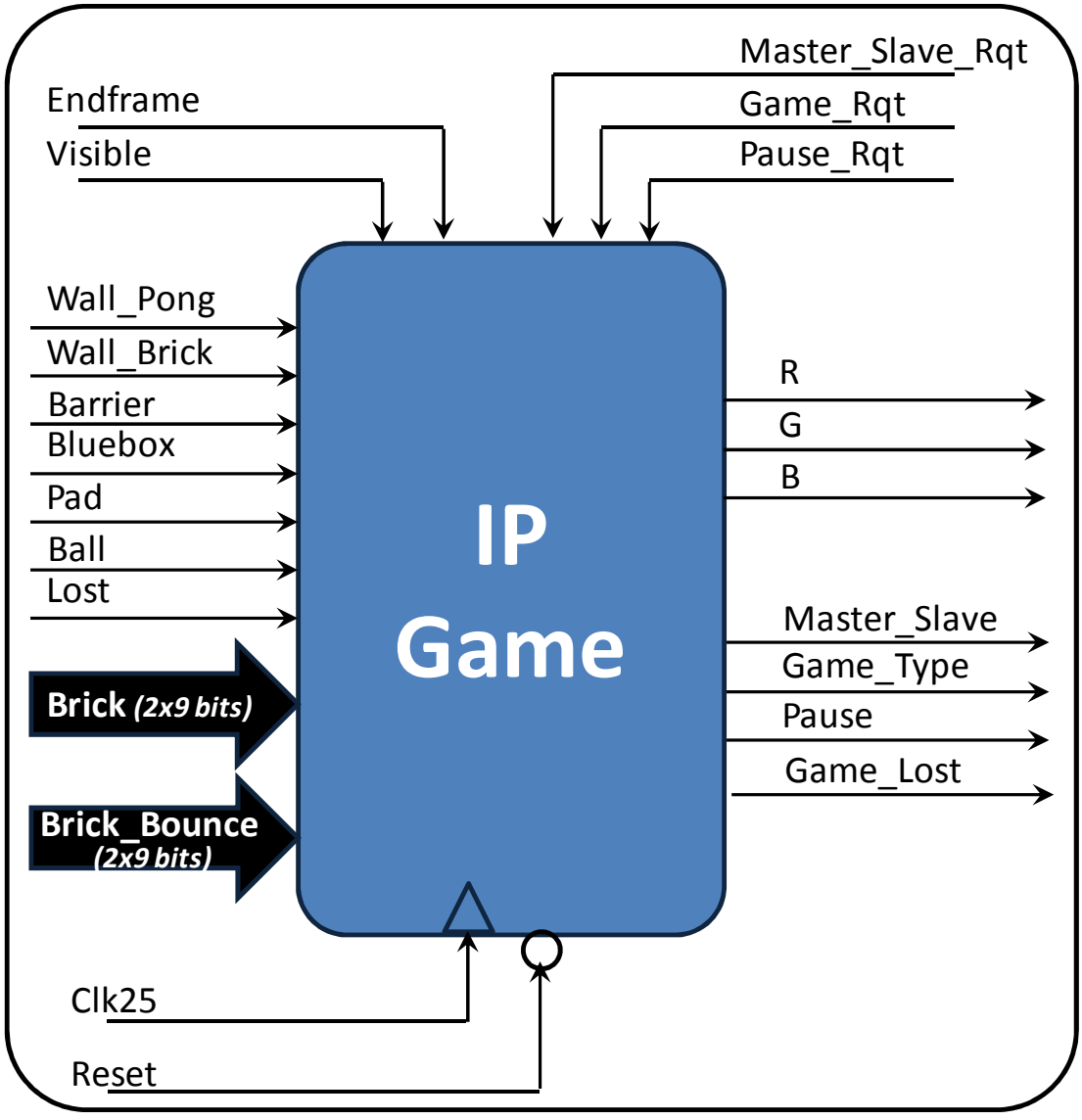


Figure 25 – Vue externe du module IP Game

Entrées :

- ***Clk25*** : Horloge 25 MHz
- ***Reset*** : Reset asynchrone
- ***Signaux de l'IP VGA***
  - ***Endframe***: Signal de fin de la zone visible de l'image
  - ***Visible***: Indique que le pixel courant appartient à la zone visible de l'image

- ***Paramètres de jeu de la PMC-E201***
  - ***Master_Slave_Rqt***: Demande de changement de mode de la PMC-E201 (Console / Manette)
  - ***Game_Rqt***: Demande de changement de jeu (Casse Briques / Pong)
  - ***Pause_Rqt***: Demande de mise en pause du jeu ou de sortie de pause.
- ***Objets des jeux***
  - ***Wall_Pong, Wall_Brick***: Indique que le pixel appartient à l'un des murs du jeu Pong ou Casse Briques
  - ***Barrier***: Indique que le pixel appartient à l'obstacle mobile du jeu Pong
  - ***Bluebox***: Indique que le pixel appartient à une case bleue du décor
  - ***Pad***: Indique que le pixel appartient à une raquette
  - ***Ball***: Indique que le pixel appartient à la balle
  - ***Lost***: Indique que le pixel se trouve sur un des bords de l'écran
  - ***Brick***: Indique que le pixel appartient à une des briques du jeu Casse Briques
  - ***Brick_Bounce***: Indique les briques qui ont été percutées par la balle (jeu Casse Briques)

Sorties :

- ***R,G,B***: Niveaux de Rouge (R), Vert (G) et de Bleu (B) souhaités pour le pixel à afficher
- ***Master_Slave***: Indique si la PMC-E201 est en mode Console ou en mode Manette
- ***Game_Type***: Indique si le jeu actif est Casse Briques ou Pong.
- ***Pause***: Indique si le jeu est en mode pause
- ***Game_Lost***: Signal indiquant que la partie est perdue (quand la balle est sortie de l'écran).

Fonctionnement général

- La couleur par défaut transmise à l'IP VGA est le noir.
- Si le pixel courant appartient à l'un des objets du jeu, on modifie ***R***, ***G*** et ***B*** pour indiquer la couleur souhaitée

- ***Game_Lost***
  - La sortie est activée quand la partie est perdue, c'est-à-dire quand la balle est sortie de l'écran
- ***Master_Slave***
  - En mode Console, la sortie est mise à 1.
  - En mode Manette, la sortie est mise à 0.
  - On inverse le niveau logique si on détecte une requête sur ***Master_Slave_Rqt***
- ***Game_Type***
  - Si le jeu actif est Pong, la sortie est mise à 1.
  - Sinon (Casse Briques), la sortie est mise à 0
  - On inverse le niveau logique si on détecte une requête sur ***Game_Rqt***
- ***Pause***
  - En mode Pause, la sortie est mise à 1
  - Sinon, la sortie est au niveau bas
  - On inverse le niveau logique si on détecte une requête sur ***Pause_Rqt***

- La gestion de toutes ces tâches est réalisée grâce à 4 sous-modules.

1) **Display:**
   - Sélection de la couleur à afficher
2) **Mode**
   - Gestion de l'état de la partie (En cours, gagnée, perdue…)
   - Gestion du mode Pause
3) **Master Slave Manager**
   - Gestion du mode de la PMC-E201 (Console / Manette)
4) **Game Manager**
   - Sélection du jeu actif (Casse Briques / Pong)

8.1) Module Display

- Ce sous-module détermine la couleur du pixel à afficher. Cette information est ensuite transmise à **IP VGA**

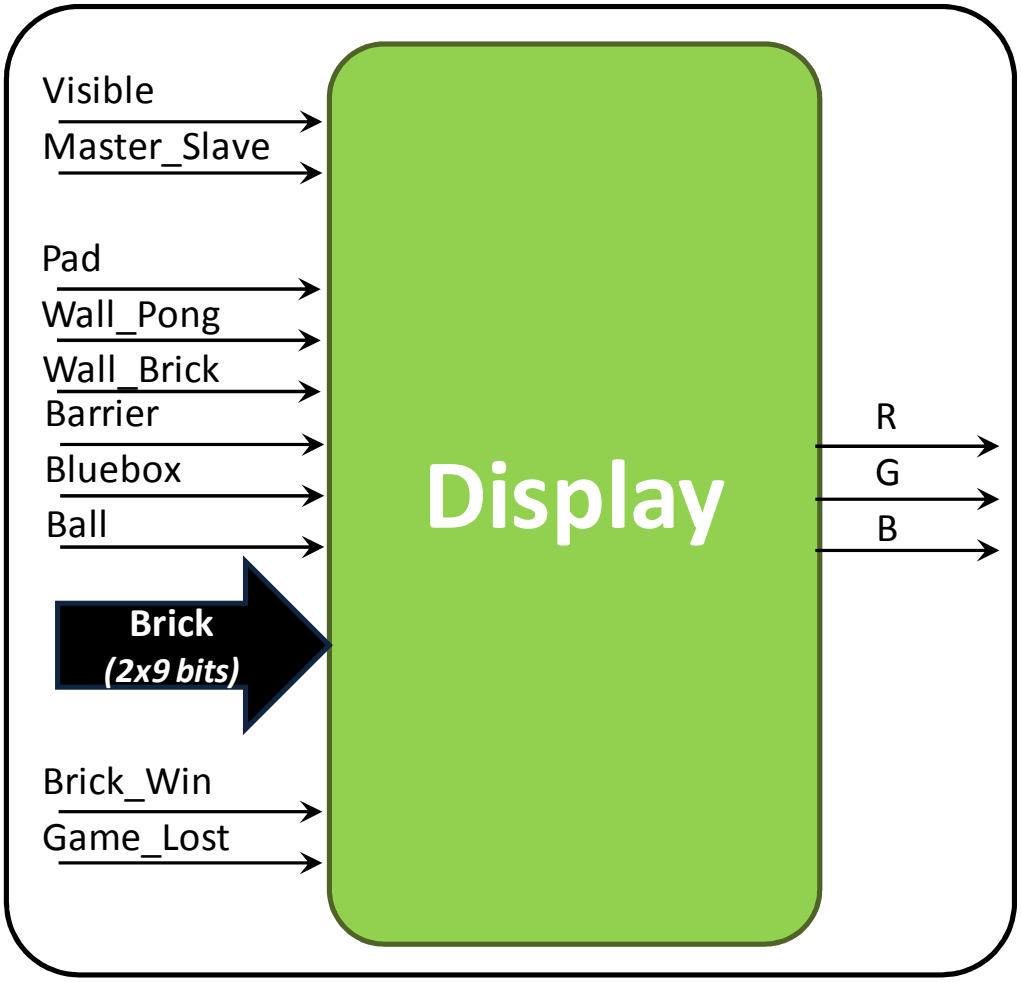


Figure 26 – Vue externe du sous-module Display

- Si l'on n'est pas dans la zone visible de l'image, ou que la PMC-E201 est en mode Manette (***Master_Slave*** = 0), alors la couleur affichée est le noir.
- Sinon :
  - Si le pixel courant appartient à une raquette ou à la balle, la couleur à afficher est le jaune
  - Si le pixel courant appartient à une brique, un mur ou à l'obstacle, la couleur à afficher est le blanc
  - Si le pixel courant appartient à une case bleue, la couleur à afficher est le bleu.
  - Si la partie est perdue (***Game_Lost***), on affiche du rouge
  - Si la partie de Casse Briques est gagnée (***Brick_Win***), on affiche du vert.

8.2) Module Mode

- Ce sous-module détermine l'état de la partie en cours et gère le mode Pause de la console.

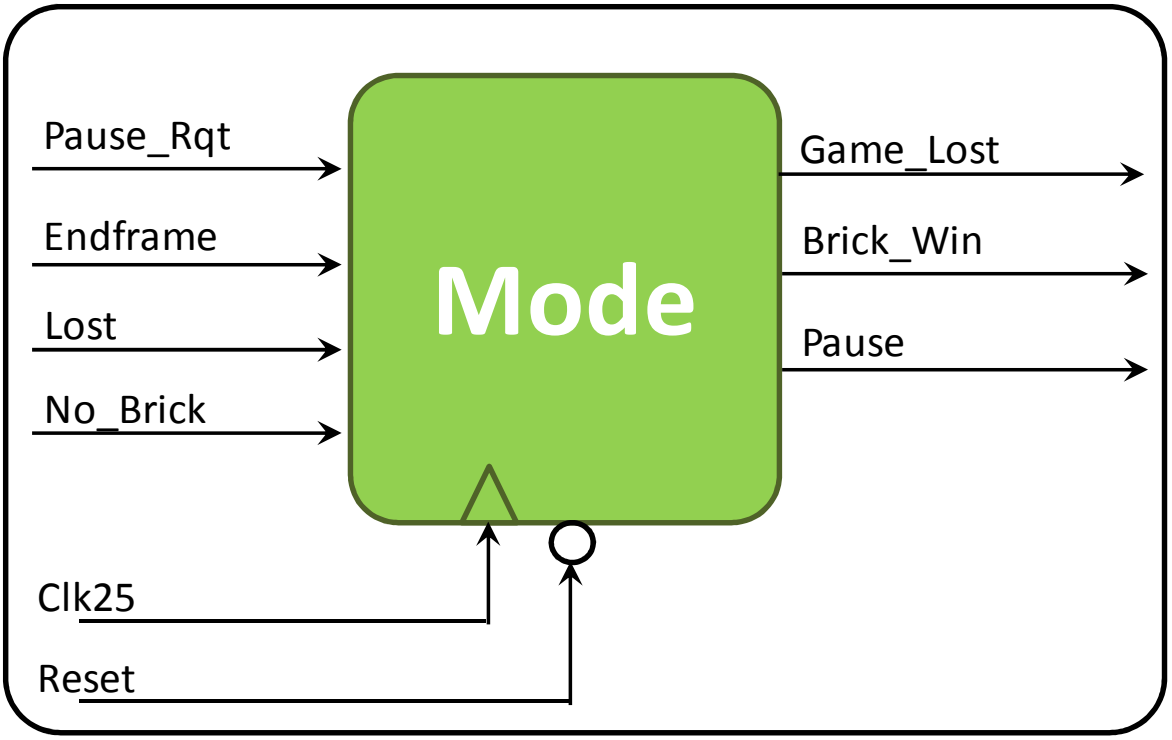


Figure 27 – Vue externe du sous-module Mode

- Ses entrées/sorties reprennent celles du module IP Game. Une sortie supplémentaire, ***Brick_Win*** permet d'indiquer qu'une partie de Casse Briques est gagnée.
- Ce sous-module est lui-même composé de 3 blocs

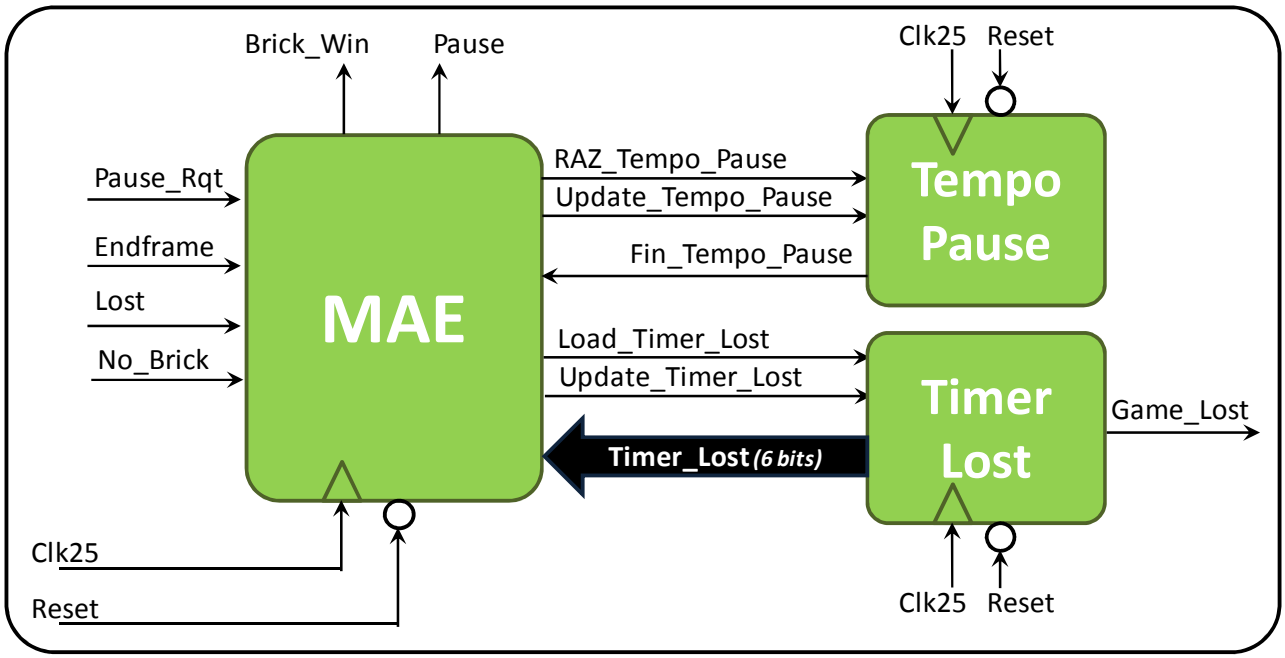


Figure 28 – Vue interne du sous-module Mode

1) **Tempo Pause:**
   - Compteur permettant de gérer l'anti-rebond du bouton poussoir de l'encodeur rotatif.
   - Utilisé pour la gestion du mode Pause de la PMC-E201
2) **Timer Lost**
   - Compteur permettant de générer la sortie ***Game_Lost***
3) **MAE**
   - Machine à états pour gérer
     - Les sorties ***Brick_Win*** et ***Pause***
     - Les deux compteurs **Tempo Pause** et **Timer Lost**

- Le signal ***No_Brick*** en entrée de la MAE est la sortie d'une porte ET prenant en entrée tous les bits de ***Brick_Bounce***.
  - ***No_Brick*** est activé si la balle a rebondi contre toutes les briques (c'est-à-dire que toutes les briques ont été détruites)

8.2.1) Tempo Pause

- **Tempo Pause** est un compteur 10 bits possédant les fonctionnalités suivantes
  - RAZ synchrone (si ***RAZ_Tempo_Pause*** est activée)
  - Incrémentation (si ***Update_Tempo_Pause*** est activée)
  - Maintien de la valeur précédente (si aucune commande n'est activée)

  - La sortie du compteur est comparée à la valeur maximale (tous les bits à 1). Si tel est le cas, la sortie ***Fin_Tempo_Pause*** est activée.

8.2.2) Timer Lost

- **Timer Lost** est un compteur 6 bits possédant les fonctionnalités suivantes
  - Chargement parallèle à la valeur 63 (tous les bits à 1) (si ***Load_Timer_Lost*** est activée)
  - Décrémentation (si ***Update_Timer_Lost*** est activée)
  - Maintien de la valeur précédente (si aucune commande n'est activée)

  - Si la sortie du compteur est supérieure à 0, la sortie ***Game_Lost*** est activée.

8.2.3) MAE

- La **MAE** a pour but de gérer :
  - Les sorties ***Brick_Win*** et ***Pause***
  - Les deux compteurs **Tempo Pause** et **Timer Lost**

- A l''état initial, le jeu est en Pause.
  - Le compteur de temporisation est initialisé à 0.

- On reste en pause tant que l'on a pas de requête de changement du mode Pause
    - Si tel est le cas, on sort du mode Pause et on démarre la temporisation
    - ➢ Le jeu est alors en mode actif.

- On reste dans le mode actif tant que l'on a pas de requête de changement du mode Pause
    - Si tel est le cas, on rentre en mode Pause et on démarre la temporisation
    - ➢ Le jeu est de nouveau stoppé.

- Il faut veiller à ce qu'UN ET UN SEUL changement de mode soit effectué POUR CHAQUE APPUI sur le bouton.
    - ➢ Si l'utilisateur garde le bouton poussoir appuyé, il ne faut pas changer plusieurs fois le mode Pause.
- Quand le jeu est actif
    - Si on détecte que toutes les briques ont été détruites, on génère le signal ***Brick_Win*** indéfiniment.
    - SI on détecte que la partie est perdue,
        - On fait un chargement de **Timer Lost** puis on passe en mode Pause

- Quand **Timer Lost** a été chargé,
    - A chaque fin d'image (***Endframe***) et tant que la valeur du compteur **Timer Lost** est supérieure à 0,
        - On décrémente la valeur de **Timer_Lost**
        - Cela permettra au signal ***Game_Lost*** (voir descriptif de **Timer Lost**) de rester activée pour une durée de 64 images.

8.3) Module Master/Slave Manager

- Ce sous-module, structuré en Machine à Etats, fixe le mode de fonctionnement de la PMC-E201
    - Mode Console → Master_Slave = 1
    - Mode Manette → Master_Slave = 0

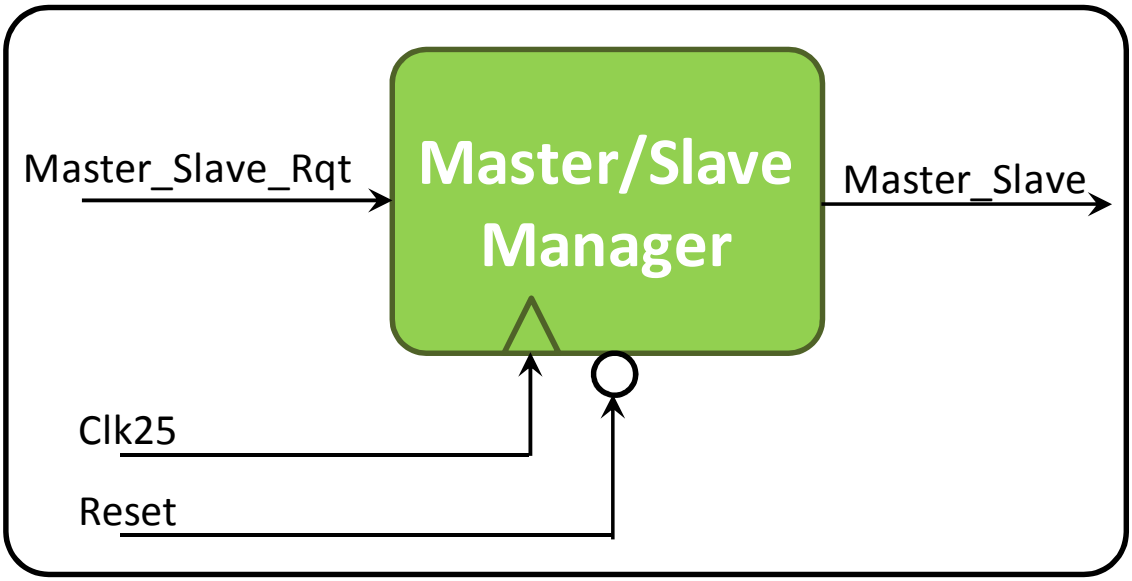


Figure 29 – Vue externe du sous-module Master/Slave Manager

- A l'état initial, la PMC-E201 est en mode Console
    - SI on détecte une demande de changement de mode (***Master_Slave_Rqt***), la PMC-E201 change de mode
    - On va passer ainsi du mode Console au mode Manette, ou inversement.
    - Il faut veiller à ce qu'UN ET UN SEUL changement de mode soit effectué POUR CHAQUE REQUETE.
        - Une requête est terminée lorsque ***Master_Slave_Rqt*** est désactivée.

8.4) Module GameManager

- Ce sous-module, structuré en Machine à Etats, fixe le jeu actif de la PMC-E201
    - Casse Briques → ***Game_Type*** = 0
    - Pong → ***Game_Type*** = 1

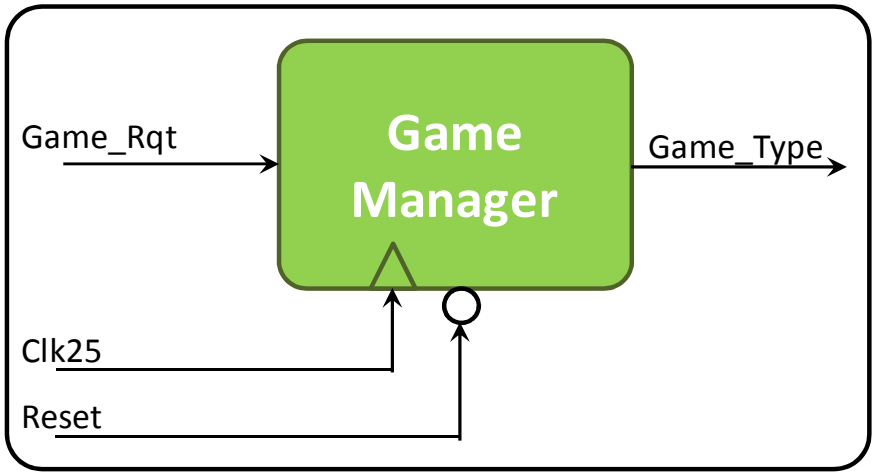


Figure 30 – Vue externe du sous-module Master/Slave Manager

- La MAE suit exactement le même principe de fonctionnement que celle de **Master/Slave Manager** (voir plus haut)
- A l'état initial, le jeu actif est le Casse Briques
    - SI on détecte une demande de changement de jeu (***Game_Rqt***), la PMC-E201 change de jeu
    - On va passer ainsi du Casse Briques à Pong, ou inversement.
    - Il faut veiller à ce qu'UN ET UN SEUL changement de mode soit effectué POUR CHAQUE REQUETE.
        - Une requête est terminée lorsque ***Game_Rqt*** est désactivée.