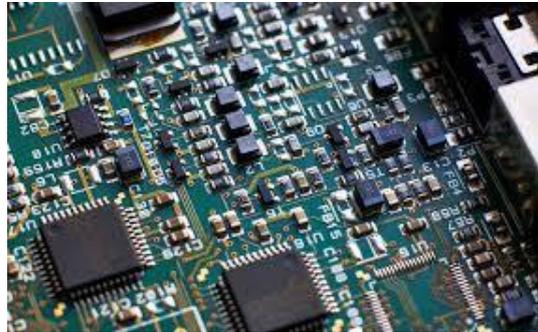


# Cours : Circuits programmables FPGA (Field Programmable Gate Array)



ROUIS MED

Université de KHEMIS MILIANA

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de la Technologie

# Table des matières



<b>I - Chapitre 1. Les Réseaux Logiques Programmables : PLD</b>	<b>3</b>
1. I. Introduction .....	3
2. II. Architectures classiques des circuits numériques .....	3
3. III. Classification des circuits numériques .....	4
4. 1. Les circuits standards .....	4
5. 2. Les circuits spécifiques à l'application ASIC (Application Specific Integration .....	5
6. 3. Les circuits programmables PLD (Programmable Logic Device) .....	6
7. Limitations des SPLD .....	7
<b>II - Chapitre 2. Les technologies des éléments</b>	<b>8</b>
1. I. Généralité sur les technologies des éléments programmables .....	8
2. II. Les technologies à fusibles .....	8
3. III. Les technologies à anti fusible et SRAM .....	9
4. IV. Les technologies à EPROM/FLASH .....	9
5. V. Technologies utilisées par les différents fabricants .....	10

# Chapitre 1. Les Réseaux Logiques Programmables : PLD

I

## 1. I. Introduction

### Définition

[cf. Switch inputs for VGA display.mp4]

Un circuit logique programmable, ou autrement dit un réseau logique programmable, est un circuit intégré qui fonctionne de manière logique et qui permet sa reprogrammation à volonté même après sa fabrication. Il n'y a pas de programmation en logiciel (contrairement à un microprocesseur). On utilise plutôt le terme « reconfiguration » plutôt que « reprogrammation » (car ses connexions ou ses composants, sont à base des portes logiques et des bascules). Le terme programmation est utilisé fréquemment, pour personnaliser les réseaux logiques reconfigurables et modifiables. Nous allons voir dans ce chapitre les différents circuits numériques et logiques programmables.

## 2. II. Architectures classiques des circuits numériques

### Définition

Le rôle de la technologie micro-électronique est la réalisation et l'intégration des transistors nécessaires à la réalisation des circuits électroniques.

Cette technologie d'intégration se présente sous formes de plusieurs possibilités :

- Utiliser des circuits standards.
- Concevoir des circuits spécifiques à l'application (ASIC).
- Utiliser des circuits programmables (PLD).

Les systèmes électroniques modernes sont de plus en plus complexes, Les contraintes de taille, de puissance dissipée et de performances sont de plus en plus sévères (téléphonie mobile, ordinateurs, traitement du signal, de l'image, etc....).

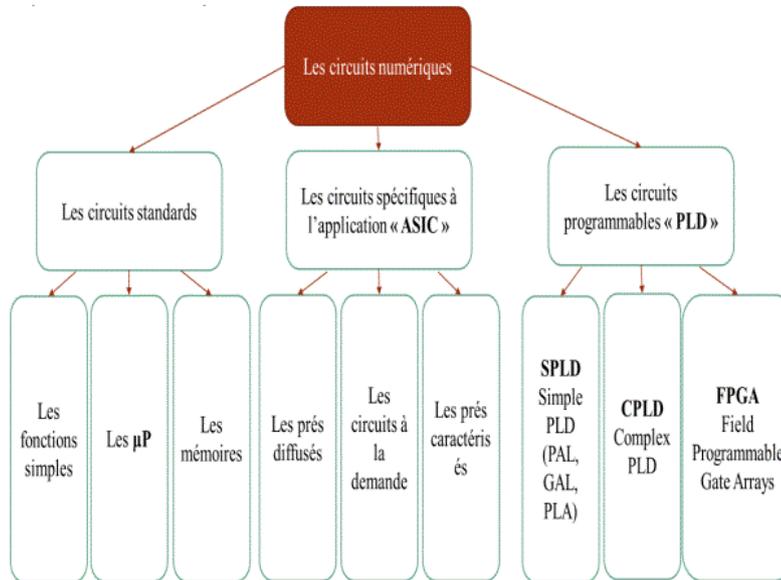
Accroissement spectaculaire des densités d'intégrations :

- 1964 Intégration à petite échelle (SSI de 1 à 10 transistors).
- 1968 Intégration à moyenne échelle (MSI de 10 à 500 transistors).
- 1971 Intégration à grande échelle (LSI de 500 à 20 000 transistors).
- 1980 Intégration à très grande échelle (VLSI plus de 20 000 à 1000 000 transistors).
- 1984 Intégration à très grande échelle (ULSI plus de 1000000 transistors)<sup>11</sup>

### 3. III. Classification des circuits numériques

#### *Définition*

Les circuits numériques se réparties sur trois grandes familles des circuits bien distincte, comme le montre la figure suivante :



*classification des circuits numériques*

### 4. 1. Les circuits standards

#### *Définition*

Des fabricants de circuits tels que MATRA, MOTOROLA, SGS THOMSON, ... proposent des composants standards ayant des fonctions plus ou moins complexes. L'association de ces composants sur un circuit imprimé permet de réaliser un système numérique.[1]

#### *Complément*

Ces circuits standards se présente sous forme de trois critères à savoir :

#### *Fondamental : Les fonctions simples.*

- Certains circuits combinatoires de moyenne complexité MSI (Medium Scale

Integration) sont considérés comme des circuits standards de base.

- On peut trouver aussi les circuits SSI (Small Scale Integration), qui réalisent des fonctions combinatoires ou séquentielles élémentaires.
- Les fonctions correspondantes réalisées en circuits intégrés se retrouvent comme composants dans les bibliothèques (librairies) de conception des circuits logique programmables.

### *Fondamental : Les microprocesseurs.*

- Processeur à usage général : Pour minimiser l'impact du coût de conception et de fabrication des circuits intégrés les plus complexes : Créer un circuit de traitement numérique dont l'usage final (l'application) n'est pas connu à la fabrication  
Réaliser un circuit intégré ayant quelques ressources de traitement assez génériques (addition de deux nombres, stockage d'un nombre en mémoire, lecture d'un nombre d'une mémoire...).
- Avec de tels circuits l'augmentation de complexité des applications est gérée simplement par l'augmentation de la taille des programmes.
- DSP (Digital Signal Processor) : Le DSP est un microprocesseur optimisé, pour exécuter des applications de traitement numériques du signal (filtrage, extraction de signaux, etc) le plus rapidement possible. Les DSP sont utilisés dans la plupart des applications du traitement numérique du signal en temps réel. On les trouve dans les Modems (RTC, ADSL), les téléphones mobiles, les appareils multimédia (lecteur MP3), les récepteurs GPS, Etc...

### *Fondamental : Les mémoires.*

Une mémoire est un dispositif permettant de stocker puis de restituer une information.

On distingue deux classes de mémoires à semi-conducteur :

- Les mémoires vives : sont des mémoires volatiles, car on peut perdre l'information en cas de coupure d'alimentation électrique. Elles peuvent être lues et écrites.
- Les mémoires mortes : sont des mémoires qui conservent l'information même en absence de l'alimentation. Donc on peut les considérées comme un circuit logique programmable.

## 5. 2. Les circuits spécifiques à l'application ASIC (Application Specific Integration)

### *Définition*

Les circuits ASIC constituent la troisième génération des circuits intégrés, apparu au début des années 80. l'ASIC présente une personnalisation de son fonctionnement, selon l'utilisation:

- ➡ une réduction du temps de développement
- ➡ une augmentation de la densité d'intégration et de la vitesse de fonctionnement.

l'ASIC est un circuit intégré qui permet un câblage direct des applications spécifiques sur le silicium

### *Fondamental : Les circuits à la demande (Full-Custom)*

Tous les éléments utilisés sont développés par le concepteur ; le fabricant réalise tous les niveaux de masque. Tout est modifiable : transistors (type, caractéristiques), connexions...

L'Intérêt du Full Custom :

- Création de circuits standards, de circuits programmables, de bibliothèques de

cellules standards ou d' IPs.

- Utilisation des technologies les plus récentes.
- Contraintes de performances trop fortes pour les composants existants.

### 6. 3. Les circuits programmables PLD (Programmable Logic Device)

#### Définition

Nom générique donné à l'ensemble des circuits monolithiques formés de cellules logiques (comportant des fusibles, des antis fusibles ou de la mémoire) qui peuvent être programmés

et parfois reprogrammés par l'utilisateur. Il existe trois principaux circuits programmables :

- SPLD (Simple PLD)

Les Simple Programmable Logic Device sont des circuits programmables élémentaires, constitué d'un ensemble de portes « ET » sur lesquelles viennent se connecter les variables d'entrée et leurs compléments. Ainsi qu'un ensemble de portes « OU » sur lesquelles les sorties des opérateurs « ET » sont connectées les variables d'entrée. Comme le montre la figure suivante :

#### Complément

Il existe trois type des SPLD :

PAL (Programmable Array Logic) : réseaux logiques programmables

- Développés au début des années 70 par MMI (ex-AMD).
- La programmation se fait par destruction de fusibles.
- Aucun fusible n'est grillé à l'achat de la PAL<sup>12</sup>

#### Remarque : Les fonctions ET sont programmables

- GAL (Généric Array Logic)

L'inconvénient majeur des PAL est qu'ils ne sont programmables qu'une seule fois. Ce qui a ramené la firme LATTICE a pensé de remplacer les fusibles irréversibles des PAL par des transistors MOS FET qui peuvent être régénérés. Ceci a donné naissance aux GAL « Réseau Logique Générique ». Ces circuits peuvent donc être reprogrammés à volonté, la figure 7 présente une implémentation d'un circuit GAL.

- Les PLA (Programmable Logic Arrays)

Les PLA diffèrent des appareils logiques programmables (PAL et GAL) dans la mesure où les fonctions de porte ET et OU sont programmables.

Le tableau suivant va récapituler les trois technologies des circuits SPLD

type	plan ET	plan OU	technologie	utilisation clas
PAL	programmable	fixe	biopolaire	Décodage
GAL	reprogrammable	fixe	CMOS	Décodage
PLA	programmable	programmable	CMOS	fonction logiqu

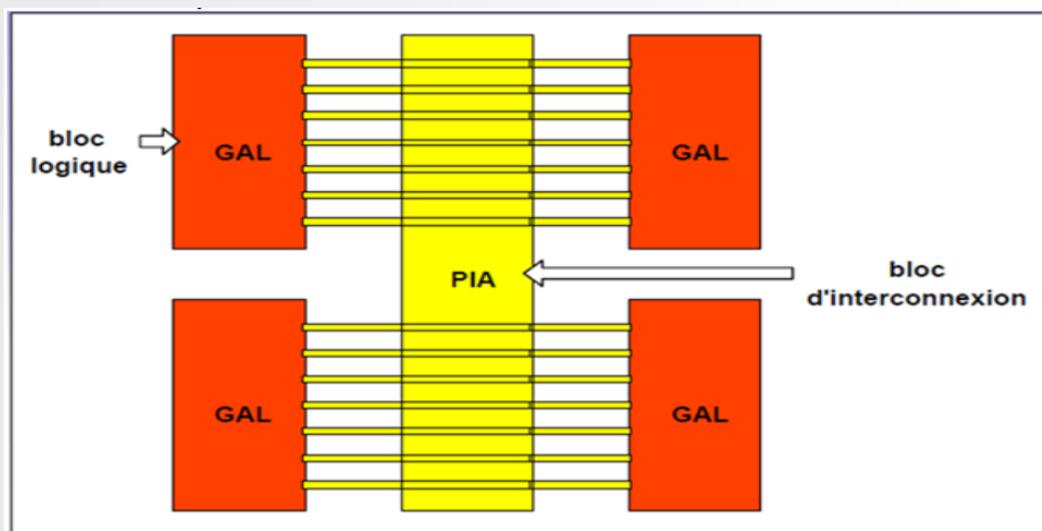
Comparaison entre les SPLD

## 7. Limitations des SPLD

### ✿ *Fondamental*

- o Impossibilité d'implémenter des fonctions multi-niveaux,
- o Impossibilité de partager des produits entre fonctions,
- o Avec les CPLDs on peut maintenant non seulement programmer la fonctionnalité mais aussi l'interconnexion entre 2 cellules !
- o Contrairement aux FPGAs, il n'y a qu'un seul chemin entre 2 points,
- o Les CPLDs perdent en flexibilité mais gagnent en prédictibilité !
  - CPLD (Complex PLD)

Les CPLD peuvent être vu comme une intégration de plusieurs PLD simples (SPLD) dans une structure à deux dimensions, ils sont composés de blocs logiques répartis autour d'une matrice d'interconnexion PI (Programmable Interconnect)<sup>223</sup>



*Circuit CPLD*

# Chapitre 2. Les technologies des éléments

## II

### 1. I. Généralité sur les technologies des éléments programmables

#### Définition

---

<sup>4</sup>On trouve les éléments programmables dans les blocs logiques des PLDs, afin de leur donner une fonctionnalité, mais aussi dans les matrices d'interconnexions entre ces blocs. Un élément programmable peut être considéré comme un interrupteur. Afin de respecter les contraintes imposées à l'ingénieur, les éléments programmables doivent posséder plusieurs qualités :

- Ils doivent occuper une surface la plus petite possible (Ce point s'explique pour des raisons évidentes de coût. Ceci est d'autant plus vrai que l'on désire en disposer d'un grand nombre). - Ils doivent posséder une résistance de passage faible et une résistance de coupure très élevée.
- Ils doivent apporter un minimum de capacité parasite.

Les deux derniers points s'expliquent quant à eux pour des raisons de performance en terme de fréquence de fonctionnement du PLD.

fréquence de fonctionnement du PLD. Plus la résistance et la capacité sur le chemin d'un signal sont faibles, plus la fréquence de ce signal peut être élevée (RC effet)<sup>4,4</sup>

### 2. II. Les technologies à fusibles

#### Définition

---

- Circuits de faible densité.
- La programmation permet de supprimer la connexion.
- Toutes les connexions sont établies à la fabrication.
- Son principe est d'appliquer une tension de 12 à 25v (tension de claquage) aux bornes du fusible.
- La programmation dans cette technologie est irréversible.

#### Remarque

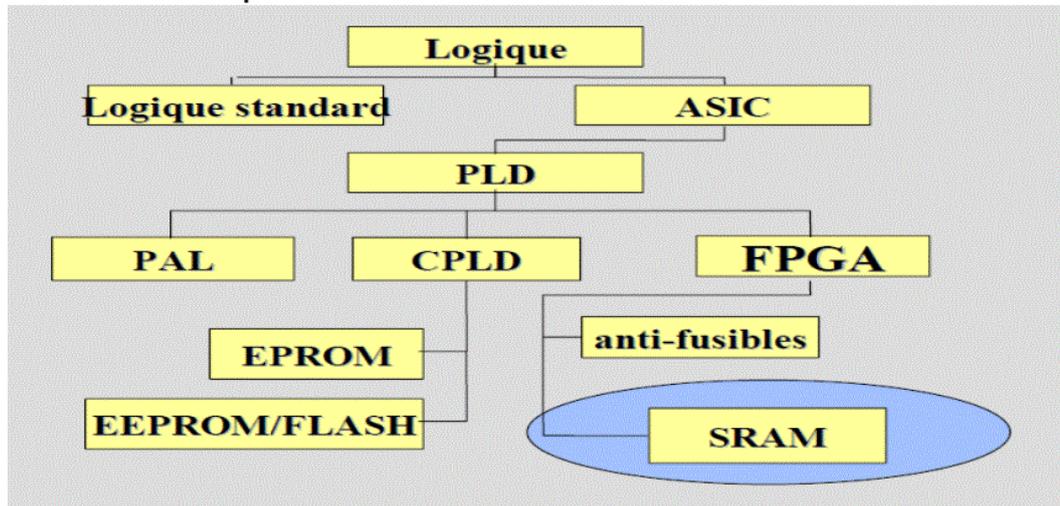
---

Technologies maintenant abandonnées pour des raisons de manque de fiabilité. Le fait de "griller" les fusibles provoque des perturbations qui peuvent affecter le reste du circuit. De plus, cette programmation est irréversible et ne permet donc pas la re-programmabilité.

### 3. III. Les technologies à anti fusible et SRAM

#### 🔑 Définition

Malgré qu'entend plus le terme de la reprogrammation dans les circuit FPGA, il existe deux différentes classifications de FPGA soit à base d'anti fusible soit à celle d'une mémoire, la figure suivante nous montre la classification de ses dernières.



Classification des technologies [2]

#### 🔑 Fondamental : Les Anti-Fusibles

Elaborer par la société ACTEL, La technique de l'anti-fusible consiste à isoler deux lignes de connexions par une fine couche d'oxyde.

Si une impulsion de haute tension (une vingtaine de volts) est appliquée à cet antifusible, la couche d'oxyde est trouée et les deux lignes sont reliées.

La programmation permet d'établir la connexion mais dans cette technologie est irréversible. Par déduction cette technique est non reprogrammable.

#### 🔑 Fondamental : Les SRAM (Static Random Access Memory)

Les circuits FPGA SRAM deviennent des solutions de remplacement avantageuses pour les systèmes numériques à haute intégration. Les cycles de développement et de prototypage (test et vérification en conditions réelles) sont accélérés et même confondus

### 4. IV. Les technologies à EPROM/FLASH

#### 🔑 Fondamental

Les technologies des éléments programmables II. Les technologies des éléments programmables

Il existe deux variantes de l'EPROM,

- Erasable Programmable Read Only Memory classique (EPROM)
- Electrically Erasable Programmable Read Only Memory (EEPROM).

La technologie EEPROM

- Les PLD à EPROM se programment électriquement et s'effacent aux UV, Par contre

Les PLD à EEPROM se programment quasi instantanément, et gardent la configuration

jusqu'à une nouvelle programmation (même en l'absence de tension)

- La technologie EEPROM est Facile et rapide à programmer, la configuration disparaît sans alimentation

## 5. V. Technologies utilisées par les différents fabricants

### Fondamental

Le tableau 2, nous donne les différents fabricants dans le monde qui utilise ces technologies des éléments programmables.

Fabrication	Tec- utilisees
actel	Anti fusile
altera	eprom, sram
amd	eprom
atmel	spam
lattice	eprom, eeprom
xilinx	spam, eprom

*Technologies utilisées par les différents fabricants*