Introduction à la conception de systèmes sur puce

Systèmes configurables sur FPGA

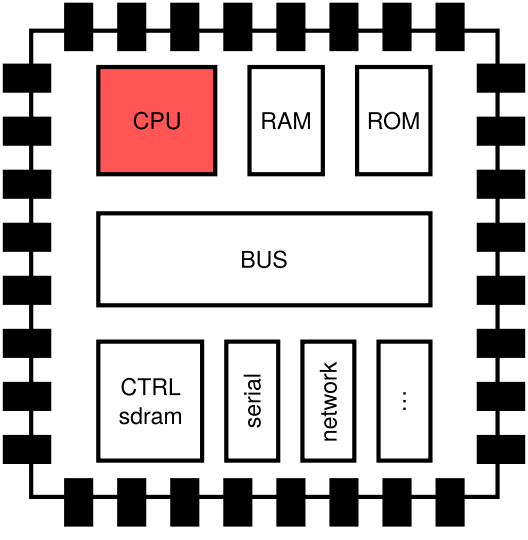
Tarik Graba
tarik.graba@telecom-paris.fr
2024-2025

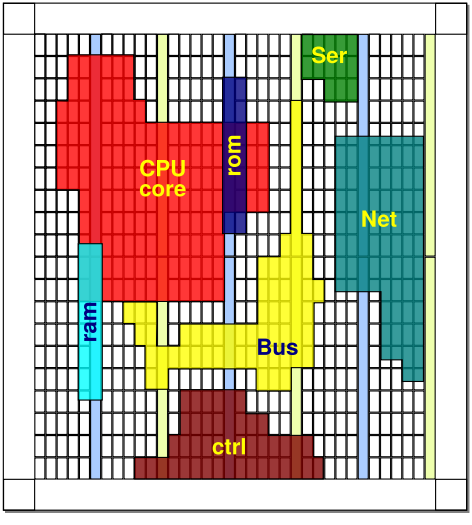
Systèmes sur FPGA

Systèmes sur FPGA

- Les FPGAs contiennent :
  - des cellules logiques programmables,
  - des mémoires,
  - …
- Les FPGAs peuvent être utilisés pour implémenter matériellement des fonctions numériques :
  - des fonctions de traitement du signal,
  - des processeurs,
  - des accélérateurs
  - …
- Les utiliser pour construire des systèmes à base de processeurs

- Développer rapidement une application autour d'un **cœur** de processeur :
  - le développement logiciel est plus simple,
  - plus facile de trouver des développeurs,
  - réutiliser les bibliothèques et les OS existants.
- Ajouter des périphériques spécialisés grâce au FPGA :
  - pour des questions de performance,
  - pour simplifier les cartes électroniques (beaucoup d'IO, glue logic,…)
- En deçà d'un certain volume, on n'a pas le choix.


CPU
RAM
ROM
BUS
CTRL
sdram
serial
network
...


Ser
CPU
core
rom
Net
ram
Bus
ctrl

Softcore processor

Softcore processor

Utiliser les ressources du FPGA pour implémenter le processeur

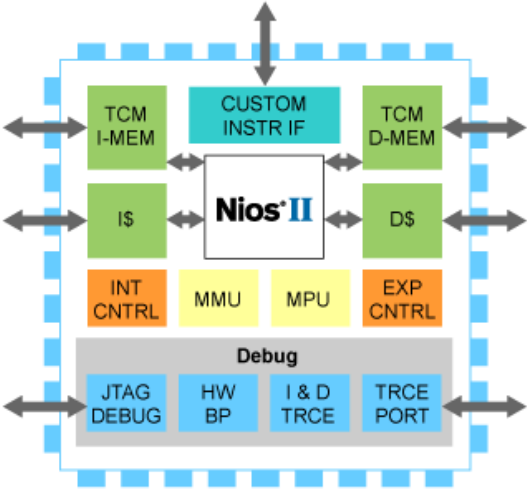
- faisable sur n'importe quel FPGA,
- le cœur est modifiable/configurable à volonté.

Par contre,

- le processeur *spécial* FPGA,
- ses performances sont limitées,
- et il utilise des ressources dans le FPGA.

Altera Nios II (historique)

- exclusivement sur FPGA Altera
- processeur 32bits
- configurable (pipline, instructions, cache,…)
  - supporté par Linux (MMU)
- les sources ne sont pas distribuées
- propriétaire/licence

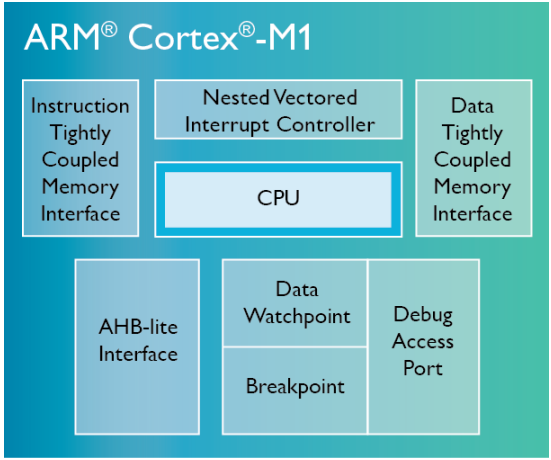


Xilinx Microblaze (historique)

- exclusivement sur FPGA Xilinx
- processeur 32bits
- configurable (pipline, instructions, cache,…)
  - supporté par Linux (MMU)
- les sources ne sont pas distribuées
- propriétaire/licence

ARM Cortex-M1

- Microcontrôleur 32bits (proche des Cortex-M0)
- configurable
- Supporte plusieurs familles de FPGAs
- pas de support Linux
- licence



OpenCore/OpenRisc (autres)

- des cœurs de processeurs opensources
- dans toutes les catégories (microcontrôleur, high-end,…)
- l'environnement (logiciel/matériel) n'est pas toujours de qualité
- support de la communauté ?

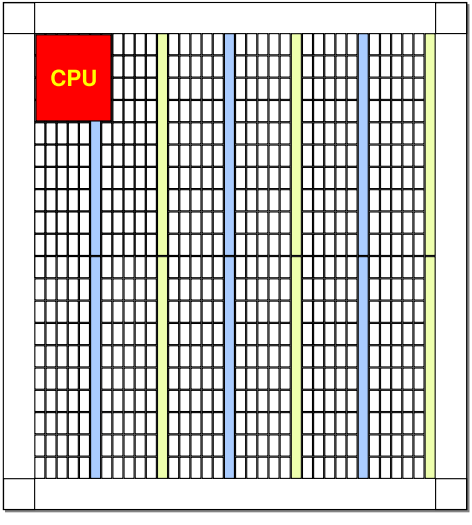
RISC-V

- ISA opensource gérée par une fondation
  - https://riscv.org
- Plusieurs déclinaisons
  - 32/64 bits
  - instructions 32bits ou compressées sur 16bits
  - profils embarqué ou applicatifs
- l'environnement (logiciel/matériel) maintenu activement
- support de la communauté
  - PME/grands groupes/recherche
  - Plusieurs implémentations opensources

Intel/Altera et AMD/Xilinx on entamé la transition vers cette architecture.

- Nios-V et Microblaze-V

Hardcore processor

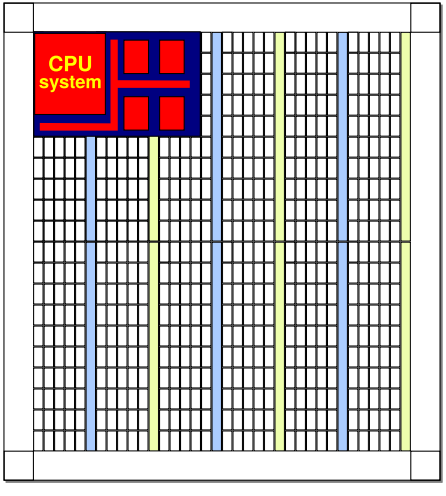


Un vrai processeur dans le FPGA

hard core processor : un bloc en dur dans la puce du FPGA

- (-) restreint à certaines familles de FPGAs
- (-) le cœur est figé
- (+) performances élevée
- (+) processeurs *standard*
- (+) la FPGA peut servir à autre chose

Hard System



Un système complet dans le FPGA

Un système sur puce de base dans la puce du FPGA

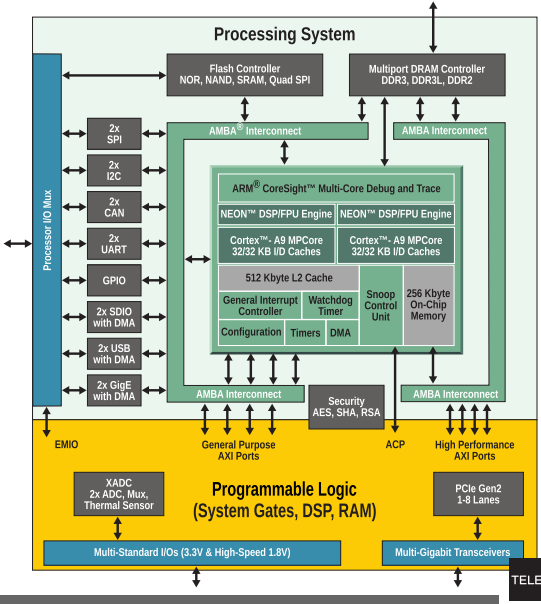
- (+) un soc de base facilite le développement logiciel :
  - (+) support des systèmes d'exploitation et bibliothèques
  - (+) mise en commun et réutilisation plus simple
- (+) on se concentre sur les ajouts
- (-) apprentissage un peu plus complexe

Xilinx Zynq SoC

Système sur puce complet :

- processeur dual core ARM Cortex-A9 (32bits)
- contrôleur de mémoire DDR, flash
- interfaces série, réseau, …

Zone FPGA connectée au bus du processeur

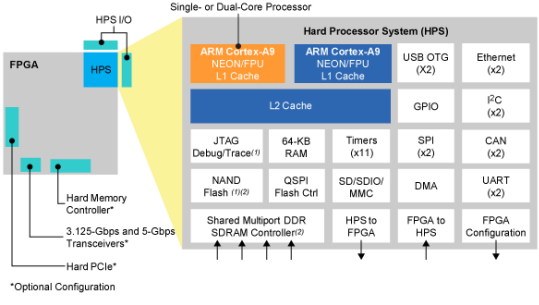


Altera CycloneV SoC

Système sur puce complet :

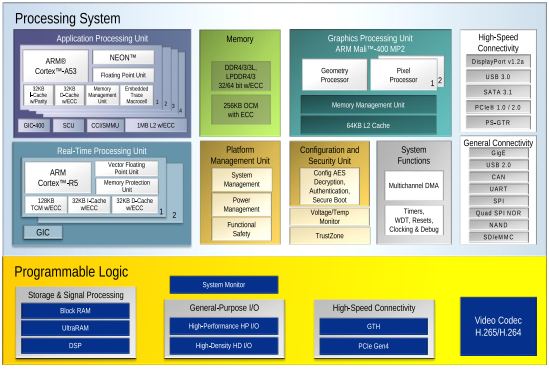
- processeur dual core ARM Cortex-A9 (32bits)
- contrôleur de mémoire DDR, flash
- interfaces série, réseau,…

Zone FPGA connectée au bus du processeur



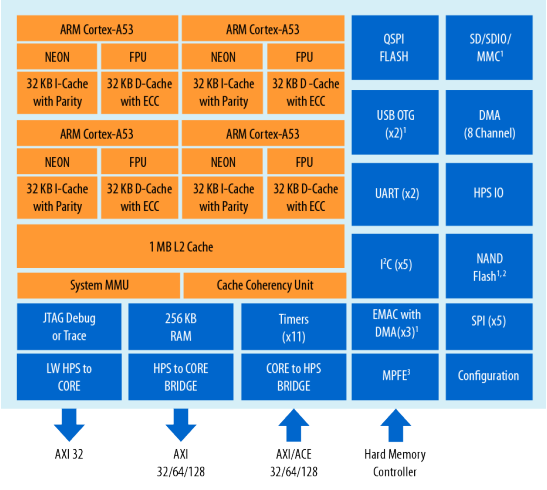
Xilinx Zynq Ultrascale+ MPSoC

- processeur dual core ARM Cortex-A53 (64bis) et processeur temps réel dual core ARM Cortex-R5 (32bits)
- GPU Mali-400, processeur vidéo (optionnels)
- contrôleur de mémoire DDR, flash
- PCIe, SATA, DisplayPort,…
- interfaces série, réseau,…



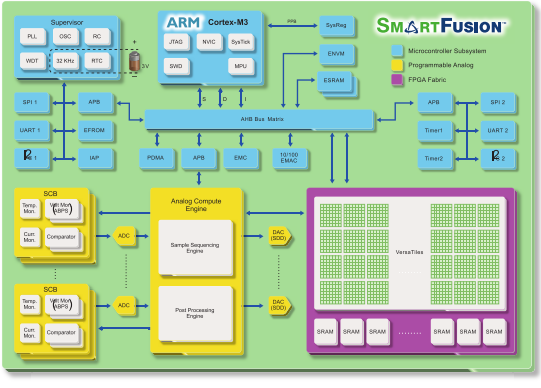
Altera Stratix10-SoC

- processeur quad core ARM Cortex-A53 (64bis)
- contrôleur de mémoire DDR, flash
- interfaces série, réseau,…



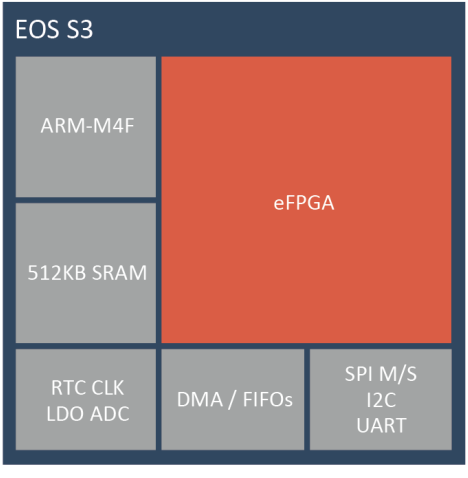
Microsemi Smatfusion/2

- Microcontrôleur 32bits ARM Cortex-M3
- interfaces série, réseau,…
- ADC, DAC
- fonctions analogiques



QuicLogic EOS-S3

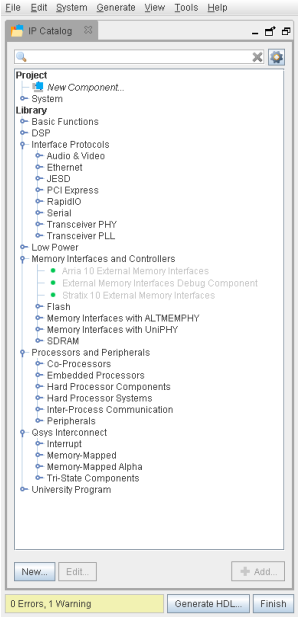
- Microcontrôleur 32bits ARM Cortex-M4
- Interfaces capteurs…
- Petite (~1K cellules) configurable
- **Outils libres**

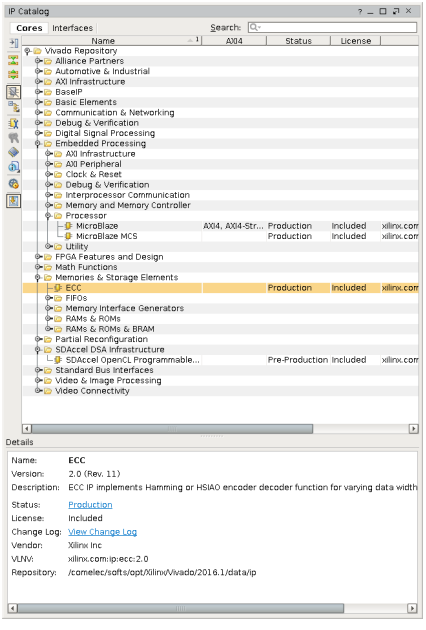


Outils et méthodologie

Développement orienté IPs

- Outil d'intégration
  - Permettant d'assembler des IPs
- Utilisation d'un standard de communication sur puce
  - AXI, AMBA, Avalon, Wishbone…
- Bibliothèque d'IPs fournies avec les outils
  - fonctions courantes (interfaces, contrôleurs mémoire…)
  - payantes ou gratuites
- Possibilité d'ajouter d'autres IPs
  - un standard existe : IP-xact


File Edit System Generate View Tools Help
IP Catalog
Project
New Component...
System
Library
Basic Functions
DSP
Interface Protocols
Audio & Video
Ethernet
JESD
PCI Express
RapidIO
Serial
Transceiver PHY
Transceiver PLL
Low Power
Memory Interfaces and Controllers
Arria 10 External Memory Interfaces
External Memory Interfaces Debug Component
Stratix 10 External Memory Interfaces
Flash
Memory Interfaces with ALTMEMPHY
Memory Interfaces with UniPHY
SDRAM
Processors and Peripherals
Co-Processors
Embedded Processors
Hard Processor Components
Hard Processor Systems
Inter-Process Communication
Peripherals
Qsys Interconnect
Interrupt
Memory-Mapped
Memory-Mapped Alpha
Tri-State Components
University Program
New...
Edit...
Add...
0 Errors, 1 Warning
Generate HDL...
Finish


IP Catalog
Cores
Interfaces
Search:
Name
AXI4
Status
License
Vivado Repository
Alliance Partners
Automotive & Industrial
AXI Infrastructure
BaseIP
Basic Elements
Communication & Networking
Debug & Verification
Digital Signal Processing
Embedded Processing
AXI Infrastructure
AXI Peripheral
Clock & Reset
Debug & Verification
Interprocessor Communication
Memory and Memory Controller
Processor
MicroBlaze AXI4, AXI4-Str... Production Included xilinx.com
MicroBlaze MCS Production Included xilinx.com
Utility
FPGA Features and Design
Math Functions
Memories & Storage Elements
ECC Production Included xilinx.com
FIFOs
Memory Interface Generators
RAMs & ROMs
RAMs & ROMs & BRAM
Partial Reconfiguration
SDAccel DSA Infrastructure
SDAccel OpenCL Programmable... Pre-Production Included xilinx.com
Standard Bus Interfaces
Video & Image Processing
Video Connectivity
Details
Name: ECC
Version: 2.0 (Rev. 11)
Description: ECC IP implements Hamming or HSIAO encoder decoder function for varying data width
Status: Production
License: Included
Change Log: View Change Log
Vendor: Xilinx Inc
VLNV: xilinx.com:ip:ecc:2.0
Repository: /comelec/softs/opt/xilinx/Vivado/2016.1/data/ip

Support logiciel

- Drivers pour interagir avec le matériel
  - avec un système d'exploitation (OS)
  - sans système d'exploitation (bare-metal)
- Bibliothèques logicielles
- systèmes d'exploitation
  - temps réel (rtOS)
  - Linux

Comme le matériel peut changer :

- Des outils pour adapter/régénérer les drivers
  - `BSP` : Board Support Package
- Intégration dans des environnements connus des développeurs de logiciels
  - `IDE` : Integrated Development Environment
    - souvent basés sur `Eclipse`