

2E200 : Electronique Numérique, Combinatoire et Séquentielle

Bertrand Granado

Licence E²A

Hiver 2019



Plan

- 1 Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020 / Méthodes et outils de Conception des systèmes numériques
- 2 Algèbre de Boole
- 3 Codage
- 4 Les composants combinatoire simples
- 5 Les composants combinatoires complexes
- 6 Les composants séquentiels : les bascules
- 7 Les composants séquentiels : les registres
- 8 Les composants séquentiels : les compteurs / Le traitement Pipeliné
- 9 Interface avec l'environnement continu : Conversion Analogique vers Numérique et Numérique vers Analogique

Equipe Pédagogique

Cours Bertrand Granado

TD Farouk Valette

Julien Denoulet

Cyril Dahon

Petros Georgiakakis

Bertrand Granado

TP Kevin Arth

Qiang Zhang

Abdelkrim Bessaad

Francis Laniel

Oussama

Orlando Chuquimia

Georges Jean Daher

Petros Georgiakakis

Bertrand Granado

Contrôle des Connaissances

- un examen Réparti ER1 : contrôle de connaissance - Aucun document



- un mini-projet avec contrôle de TP et soutenance de mini-projet
- un examen final ER2 de réflexion ! Documents autorisés mais seulement ceux de cours !
- Evaluation
 - ▶ Ecrit : 65%
 - ★ ER1 = 40%, ER2 = 60%
 - ▶ Mini-Projet : 35%
 - ★ Contrôle de TP = 30%, Mini-projet = 70% (Travail durant les séances, rapport et Soutenance)

Plan

1 Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020 / Méthodes et outils de Conception des systèmes numériques

- Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020
- Les systèmes numériques d'hier
- Les systèmes numériques d'aujourd'hui
- Les systèmes numériques de demain
- Loi de Moore
- ITRS
- Evolution Technologique
- Evolution des outils et Méthodes
- Analyse Ascendante - Analyse Descendante
- Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

2 Algèbre de Boole

3 Codage

Révolution Numérique



Milestones in the Technology Industry CES® Celebrates 50 Years of Innovation

2015
By introducing the world to CES, the Consumer Electronics Show, the Consumer Technology Association



Consumer Technology Association

50 YEARS
CES 1967-2017

Plan

1 Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020 / Méthodes et outils de Conception des systèmes numériques

- Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020
- **Les systèmes numériques d'hier**
- Les systèmes numériques d'aujourd'hui
- Les systèmes numériques de demain
- Loi de Moore
- ITRS
- Evolution Technologique
- Evolution des outils et Méthodes
- Analyse Ascendante - Analyse Descendante
- Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

2 Algèbre de Boole

3 Codage

Les systèmes numériques d'hier

- système de guidage d'Apollo - 1966
- première version : 4100 circuits intégrés contenant une unique porte Non-Ou à 3 entrées
- seconde version : 2800 circuits intégrés contenant deux portes Non-ou à 3 entrées

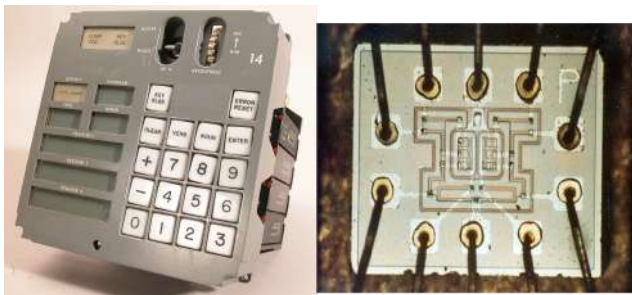


Figure: AGC : Apollo Guidance Computer

Les systèmes numériques d'hier

- Premier Pacemaker implanté - 1958
- durée : 3 heures
- Patient Arne Larsson, qui a eu 22 pacemakers jusqu'à sa mort à 86 ans en 2001



Figure: Larsson Pacemaker

Plan

1 Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020 / Méthodes et outils de Conception des systèmes numériques

- Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020
- Les systèmes numériques d'hier
- **Les systèmes numériques d'aujourd'hui**
- Les systèmes numériques de demain
- Loi de Moore
- ITRS
- Evolution Technologique
- Evolution des outils et Méthodes
- Analyse Ascendante - Analyse Descendante
- Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

2 Algèbre de Boole

3 Codage

Les systèmes numériques d'aujourd'hui

- IMA : Integrated Modular Avionics
- Cœur commun

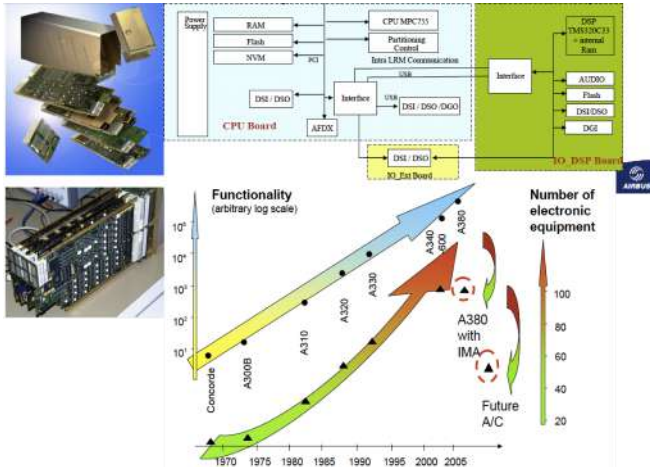


Figure: A380 : IMA

Les systèmes numériques d'aujourd'hui

- Vidéo Capsule endoscopique sans fil
- 2003

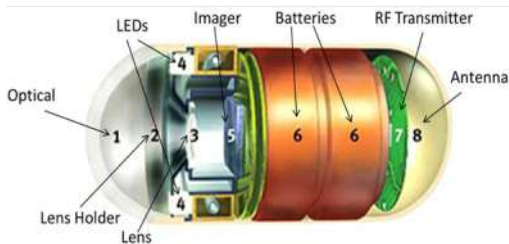


Figure 1: The Pillcam capsule's high level of RF transceiver power efficiency enables it to operate on two silver dioxide batteries.



Figure: Vidéo Capsule Pillcam de Given Imaging

Les systèmes numériques d'aujourd'hui

- 1,160,000,000 transistors - 2011
- 3,3 GHz - Technologie 32 nm - 64 bits - MultiCœurs

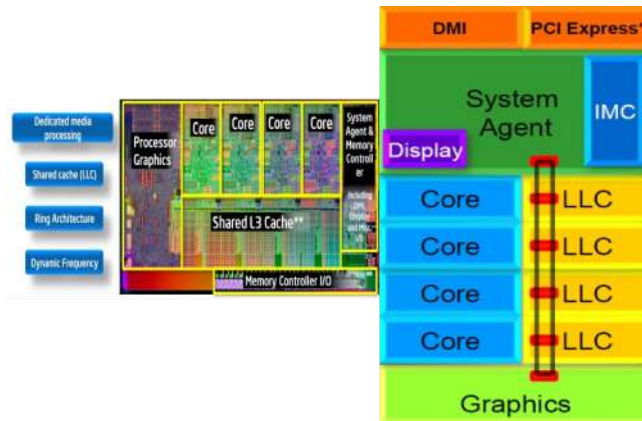


Figure: Microprocesseur Intel Récent : corei7

Plan

1 Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020 / Méthodes et outils de Conception des systèmes numériques

- Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020
- Les systèmes numériques d'hier
- Les systèmes numériques d'aujourd'hui
- **Les systèmes numériques de demain**
- Loi de Moore
- ITRS
- Evolution Technologique
- Evolution des outils et Méthodes
- Analyse Ascendante - Analyse Descendante
- Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

2 Algèbre de Boole

3 Codage

Les systèmes numériques de demain

- Augmenter la vision



Figure: Lunettes 3D pour voir à travers les nuages et la structure de l'avion

Les systèmes numériques de demain

- L'homme réparé

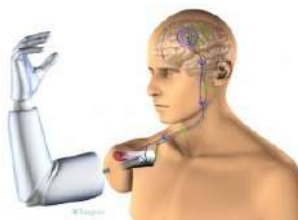


Figure: Bras artificiel commandé par le cerveau

Les systèmes numériques de demain

- 2048 cœurs, peut-être plus sur une seule puce



Figure: Multi Cœurs

Plan

1 Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020 / Méthodes et outils de Conception des systèmes numériques

- Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020
- Les systèmes numériques d'hier
- Les systèmes numériques d'aujourd'hui
- Les systèmes numériques de demain
- **Loi de Moore**
- ITRS
- Evolution Technologique
- Evolution des outils et Méthodes
- Analyse Ascendante - Analyse Descendante
- Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

2 Algèbre de Boole

3 Codage

La fameuse loi de Gordon Moore

- Ingénieur de Fairchild semiconducteur et co-fondateur d'Intel
- 1965 : doublement tous les 3 ans du nombre de transistors sur puce
- 1975 : doublement tous les 2 ans du nombre de transistors sur puce pour les microprocesseurs

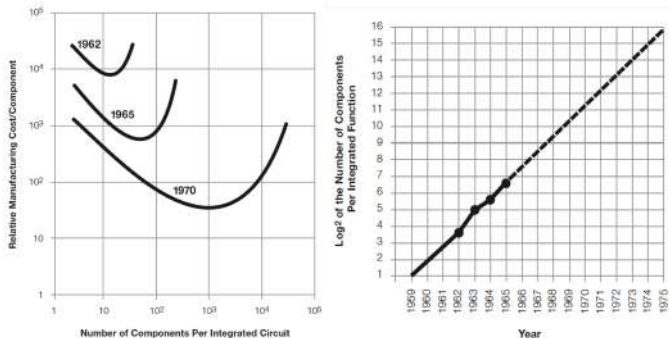


Figure: La loi de Moore, 1965

La fameuse loi de Gordon Moore

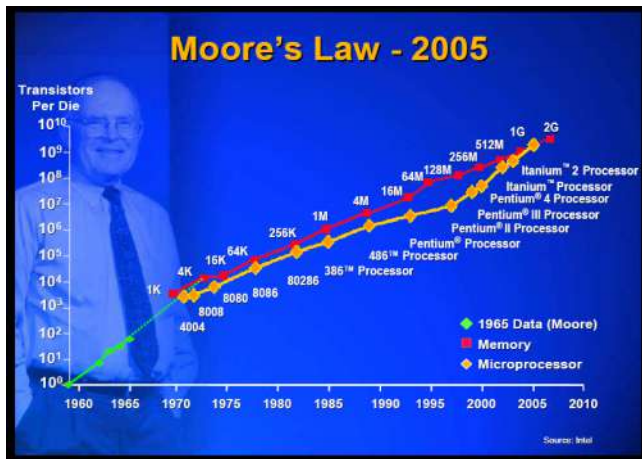


Figure: La loi de Moore, 2005

Plan

1 Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020 / Méthodes et outils de Conception des systèmes numériques

- Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020
- Les systèmes numériques d'hier
- Les systèmes numériques d'aujourd'hui
- Les systèmes numériques de demain
- Loi de Moore
- **ITRS**
- Evolution Technologique
- Evolution des outils et Méthodes
- Analyse Ascendante - Analyse Descendante
- Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

2 Algèbre de Boole

3 Codage

Et après la loi de Moore ?

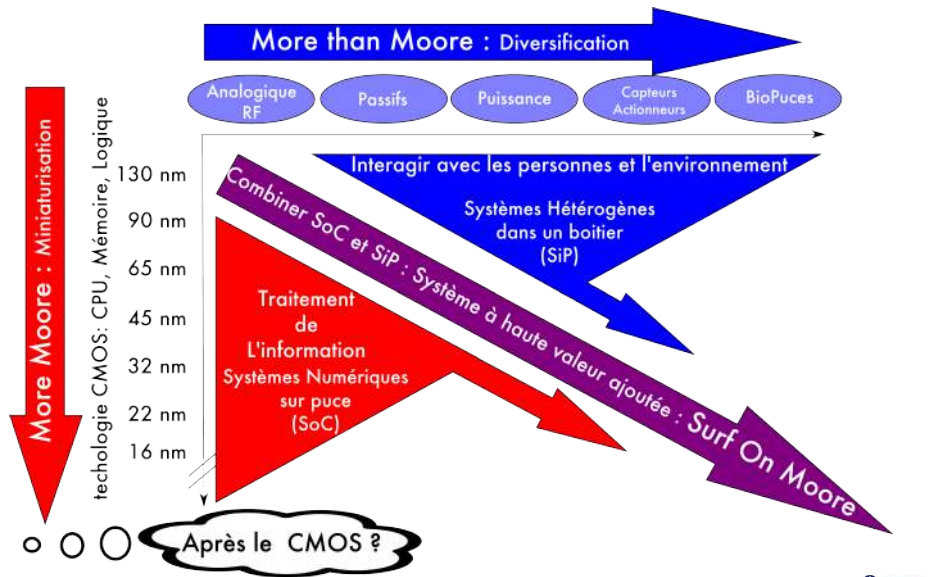


Figure: Evolution de l'électronique suivant la loi de Moore. d'après l'ITRS 2010

Et après la loi de Moore ?



Figure: Les applications SoC ou SiP ?

Plan

1 Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020 / Méthodes et outils de Conception des systèmes numériques

- Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020
- Les systèmes numériques d'hier
- Les systèmes numériques d'aujourd'hui
- Les systèmes numériques de demain
- Loi de Moore
- ITRS
- **Evolution Technologique**
- Evolution des outils et Méthodes
- Analyse Ascendante - Analyse Descendante
- Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

2 Algèbre de Boole

3 Codage

Evolution des technologies



International Technology Roadmap for Semiconductors

	2010	2011	2013	2015	2020	2024
Technologie (um)	45	38	27	21	11,9	7,5
Taille des puces uP & ASIC (mm²)	99	140	140	88	111	88
Densité d'intégration uP & ASIC (Mtr/cm²)	781	1104	2209	3506	11130	28047
Fréquence d'horloge SOC (GHz)	5,9	6,3	7,3	8,5	12,4	16,6
Tension d'alimentation (V)	0,97	0,93	0,87	0,81	0,68	0,6

Source : November 2009 ITRS -<http://public.itrs.net/>

Figure: Evolution des technologies, ITRS 2009

Plan

1 Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020 / Méthodes et outils de Conception des systèmes numériques

- Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020
- Les systèmes numériques d'hier
- Les systèmes numériques d'aujourd'hui
- Les systèmes numériques de demain
- Loi de Moore
- ITRS
- Evolution Technologique
- **Evolution des outils et Méthodes**
- Analyse Ascendante - Analyse Descendante
- Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

2 Algèbre de Boole

3 Codage

Evolution des méthodes ?

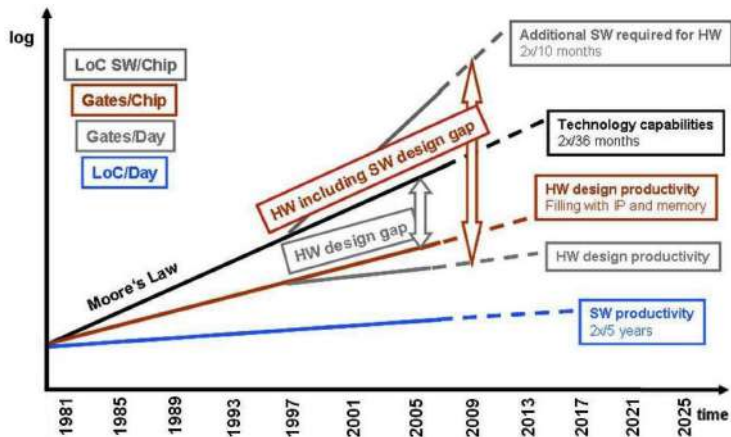


Figure: Evolution des méthodes, ITRS 2009

Plan

1 Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020 / Méthodes et outils de Conception des systèmes numériques

- Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020
- Les systèmes numériques d'hier
- Les systèmes numériques d'aujourd'hui
- Les systèmes numériques de demain
- Loi de Moore
- ITRS
- Evolution Technologique
- Evolution des outils et Méthodes
- **Analyse Ascendante - Analyse Descendante**
- Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

2 Algèbre de Boole

3 Codage

Les légos



Les légos



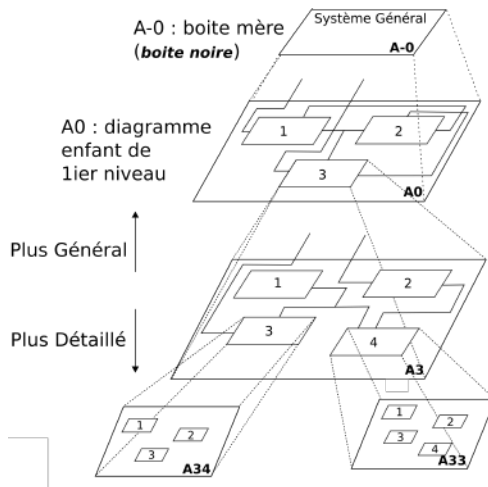
Analyse Descendante

- L'analyse descendante se définit comme l'approche systémique
- C'est une analyse qui part du cahier des charges pour arriver au système
- Basée sur une hiérarchisation de la description du système
- Besoin de tester tous les niveaux hiérarchiques

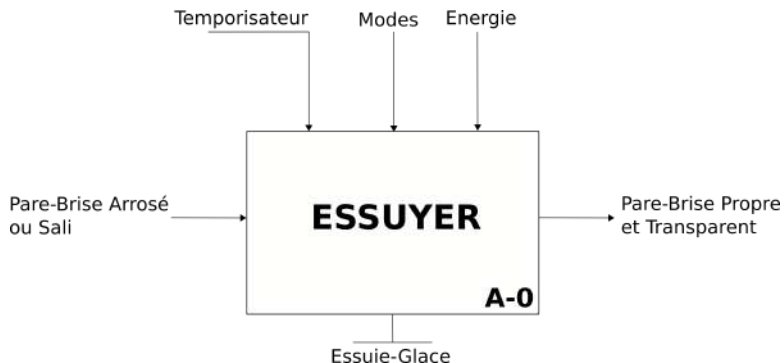
Analyse Descendante et un peu Ascendante

- Les règles de conception recommandent l'utilisation de l'analyse descendante en gardant présent à l'esprit la possibilité de privilégier des sous-systèmes déjà existants et tester choix chaque fois que c'est possible..

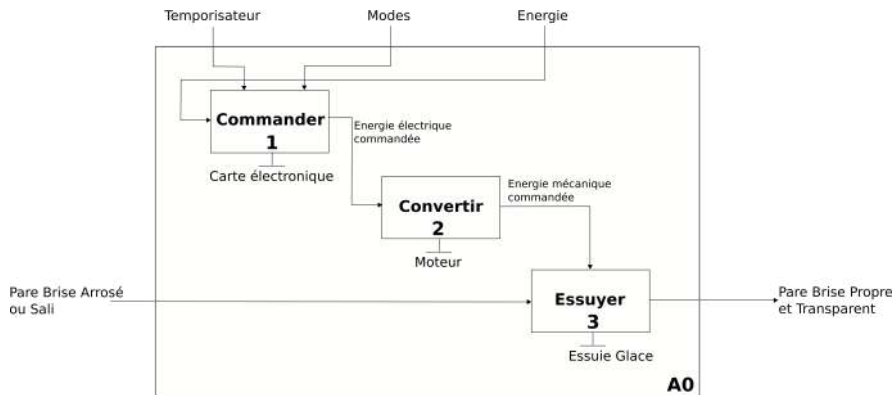
- System Analysis and Design Technic
- Représentation systémique
- Introduit en 1976 par Doug Ross de la société Softech
- Domaines : télécommunication, avionique, armement, productique, systèmes d'information, contrôle des processus, scientifique, intelligence artificielle, etc.



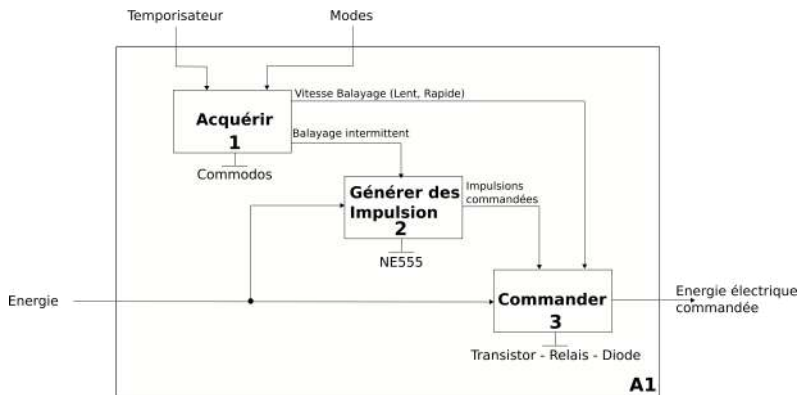
S.A.D.T : Diagramme A-0



S.A.D.T : Diagramme A0



S.A.D.T : Diagramme A1



Plan

1 Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020 / Méthodes et outils de Conception des systèmes numériques

- Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020
- Les systèmes numériques d'hier
- Les systèmes numériques d'aujourd'hui
- Les systèmes numériques de demain
- Loi de Moore
- ITRS
- Evolution Technologique
- Evolution des outils et Méthodes
- Analyse Ascendante - Analyse Descendante
- Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

2 Algèbre de Boole

3 Codage

Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

- Comment Concevoir un Circuit ?

- ▶ Cela dépend du circuit.
- ▶ petits circuits : A la main, en schématique
- ▶ circuits moyens : A la main à l'aide de composants discrets
- ▶ gros circuits : A l'aide de langage de Description de circuits numériques

Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

- Les Langages de description

- ▶ Langage de type HDL : Hardware Description Language
- ▶ VHDL : Volonté d'Industriels et de Chercheurs de définir un langage HDL
- ▶ Verilog : Issu de la société Cadence Inc.
- ▶ System C : Mettre au même niveau Logiciel et Matériel

Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

- Existe depuis 1987 date de la première norme. 1993 seconde norme.
- VHSIC Hardware Description Language
- Langage Mûr et couramment utilisé
- 3 Niveaux :
 - ▶ Niveau Structurel
 - ▶ Niveau Flot de Données
 - ▶ Niveau Comportemental

Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

- VHDL-RTL

- ▶ RTL : Register Transfert Level
- ▶ Description Synthétisable
- ▶ Utilisable pour fondre un circuit
- ▶ Utilisée dans ce cours

Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

- VHDL - La base

- ▶ 3 blocs de base:

- ★ Les bibliothèques
 - ★ L'entité : Décrit l'interfaçage du composant
 - ★ L'architecture : Décrit le fonctionnement du composant

Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

- VHDL - La Bibliothèque

```
library ieee;  
use ieee.std_logic_1164.all;  
use ieee.std_logic_unsigned.all;
```

Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

- VHDL - L'entité

```
entity MON-ET is
port( A : in std_logic;
      B : in std_logic;
      S : out std_logic);
end entity MON-ET;
```


Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

- VHDL - L'architecture

S = A et B

```
architecture FLOT of MON-ET is
begin
    S <= A and B;
end architecture FLOT;
```

Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

- Le flot de conception
 - ▶ De la description au circuit
 - ▶ Décrit en VHDL le circuit
 - ▶ Simule le circuit
 - ▶ Synthétise le circuit
 - ▶ Placement-Routage du circuit
 - ▶ Réalise un masque
 - ▶ Cuisson du circuit

Description d'un système numérique à l'aide d'un langage de description : le VHDL

- Le VHDL : à quoi ça sert ?
 - ▶ A la conception d'ASIC
 - ▶ A la configuration de FPGA
 - ▶ A la vérification fonctionnelle de circuits numériques.

Plan

- 1 Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020 / Méthodes et outils de Conception des systèmes numériques
- 2 Algèbre de Boole
- 3 Codage
- 4 Les composants combinatoire simples
- 5 Les composants combinatoires complexes
- 6 Les composants séquentiels : les bascules
- 7 Les composants séquentiels : les registres
- 8 Les composants séquentiels : les compteurs / Le traitement Pipeliné
- 9 Interface avec l'environnement continu : Conversion Analogique vers Numérique et Numérique vers Analogique

Plan

- 1 Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020 / Méthodes et outils de Conception des systèmes numériques
- 2 Algèbre de Boole
- 3 Codage
- 4 Les composants combinatoire simples
- 5 Les composants combinatoires complexes
- 6 Les composants séquentiels : les bascules
- 7 Les composants séquentiels : les registres
- 8 Les composants séquentiels : les compteurs / Le traitement Pipeliné

Plan

- 1 Introduction : L'électronique numérique à l'aube de 2020 / Méthodes et outils de Conception des systèmes numériques
- 2 Algèbre de Boole
- 3 Codage
- 4 Les composants combinatoire simples
- 5 Les composants combinatoires complexes
- 6 Les composants séquentiels : les bascules
- 7 Les composants séquentiels : les registres
- 8 Les composants séquentiels : les compteurs / Le traitement Pipeliné