

Cours Microcontrôleurs Avancés

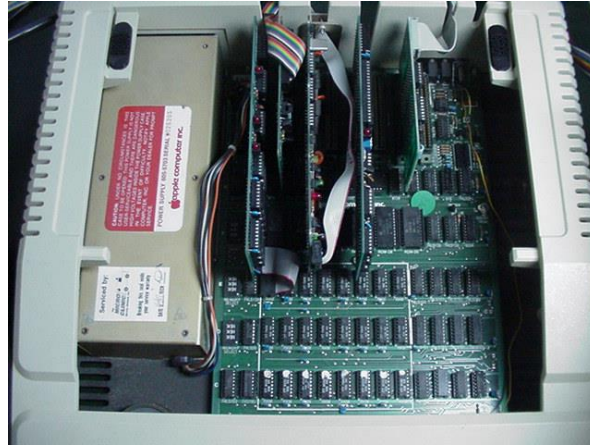
CH2: Microcontrôleurs ARM

Par:

Hassan EL FADIL

elfadil.h@gmail.com

Apple II (Juin 1977)

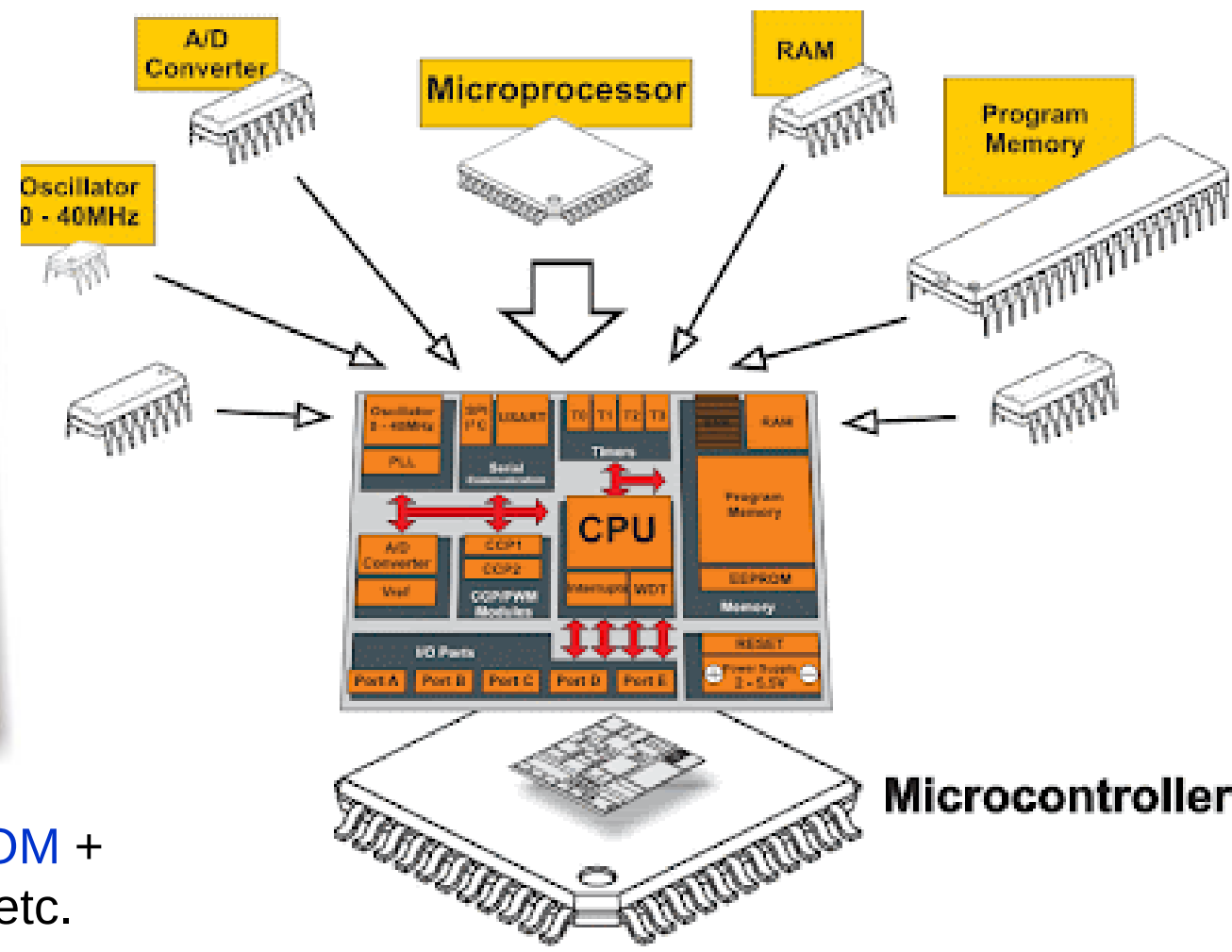
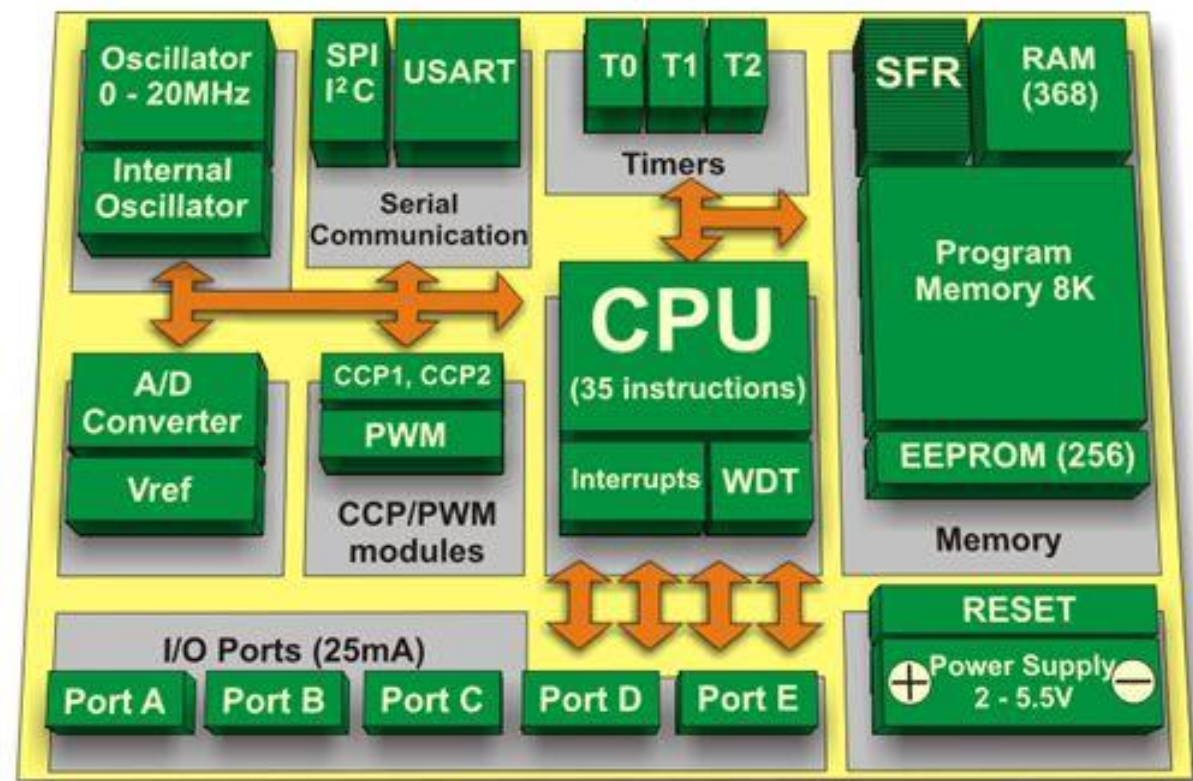


- Proc: 1Mhz, 8bits, 4kRAM, 8kROM, 24x40 caractères,
- Cassette, HP, 8 Ports, sortie
- vidéo composite

Raspberry Pi 4 (Juin 2019)



- SoC – Broadcom BCM2711 quad-core Cortex-A72 (ARMv8) @ 1.5GHz with VideoCore VI GPU supporting OpenGL ES 3.0 graphics
- System Memory – 1GB, 2GB or 4GB LPDDR4
- Video Output & Display I/F: 2x micro HDMI ports up to 4Kp60 (résolutions d'écran 4K à une fréquence d'images de 60 Hz)



Microcontrôleur = **Microprocesseur** + **RAM** + **ROM** +
Ports E/S + **Convertisseurs A/N et N/A** + **Timers**, etc.

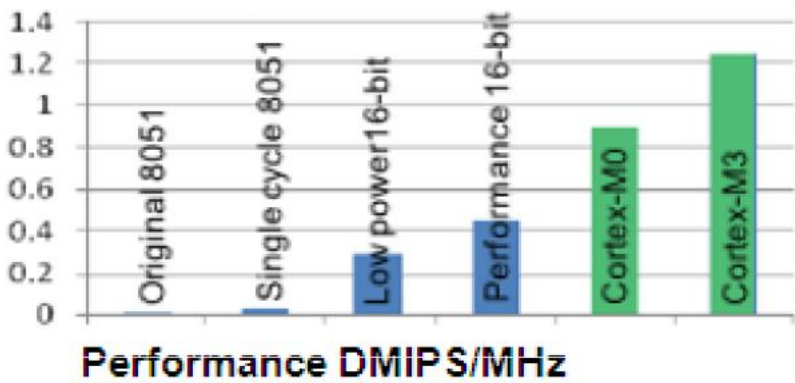
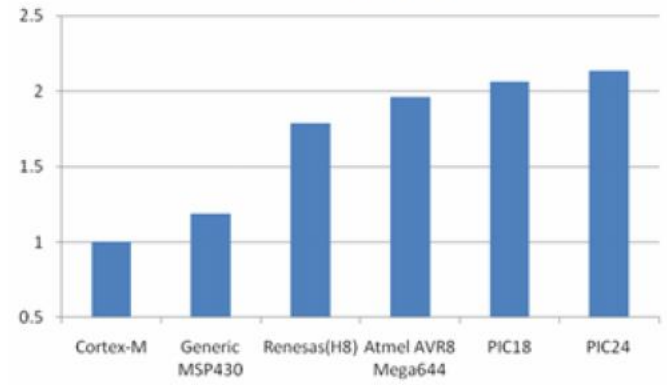
Comparaison 8051, PIC, AVR, MSP430, ARM

- **Intel 8051** ou 8051 est un microcontrôleur (MC) développé par **Intel** en 1980 (architecture Harvard, 8 bits, RISC)
- **AVR** est le terme utilisé par **Atmel** pour désigner le cœur du processeur et la famille de microcontrôleurs qui le mettent en œuvre (architecture Harvard, 8 bits, RISC). Atmel a été acquis en 2016 par **Microchip Technology**
- **PIC**: Peripheral Interface Controller : famille des microcontrôleurs fabriqués par “**Microchip Technology**” (architecture Harvard, RISC; **PIC32MK** 32-bit, 120 MHz)
- **MSP430** est le nom d’une famille de microcontrôleurs de la marque **Texas Instruments** (architecture von Neumann, 16-bit, RISC)
- **ARM**: architectures de type RISC 32 bits

Comparaison 8051, PIC, AVR, MSP430, ARM

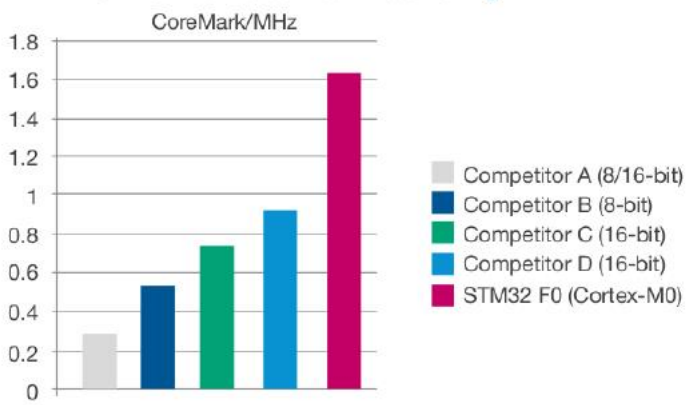
- Architecture 8bit pour la base, 16/32bits pour ARM
- 8051, AVR, ARM peuvent adresser toute la RAM, PIC que des blocs de 256 octets.
- 8051 et PIC, MSP utilisent plusieurs cycles/instr., AVR et ARM 1cycle/instr.
- AVR peuvent remplacer les 8051, ils sont similaires
- AVR+ARM ont des compilateurs efficaces + GCC (GNU Compiler Collection: languages, C, C++, Ada)
- MSP a une consommation ultra-basse => application ou l'on veut changer de batterie 1x par ans
- ARM = Puissance, recommandé pour du multitâche moyen et haut niveau.

Average code size

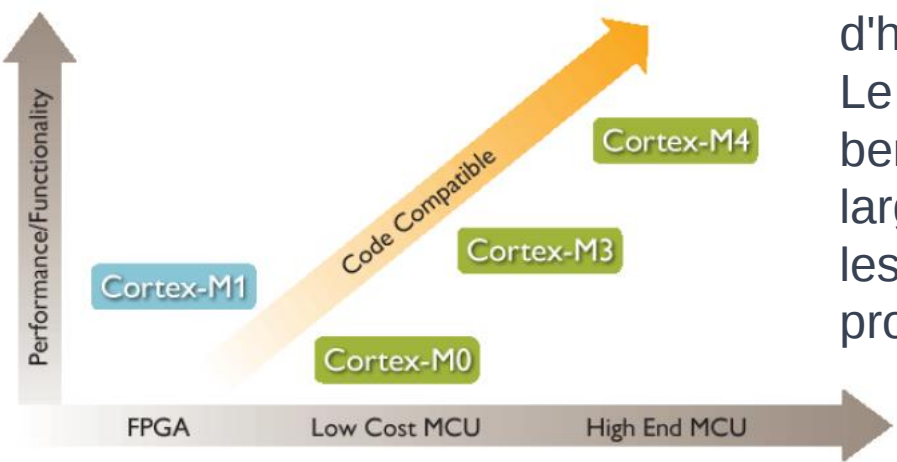


DMIPS/MHz (**D**hrystone **M**illions of **I**nstructions **P**er **S**econd per **M**egahertz) est une mesure de la performance d'un processeur, exprimée en millions d'instructions Dhrystone exécutées par seconde pour chaque mégahertz de fréquence d'horloge du processeur. Le Dhrystone est un benchmark informatique largement utilisé pour évaluer les performances des processeurs.

STM32 F0 Benchmark Positioning



The STM32 F0 provides an optimal balance of cost, performance, and peripherals for embedded applications.



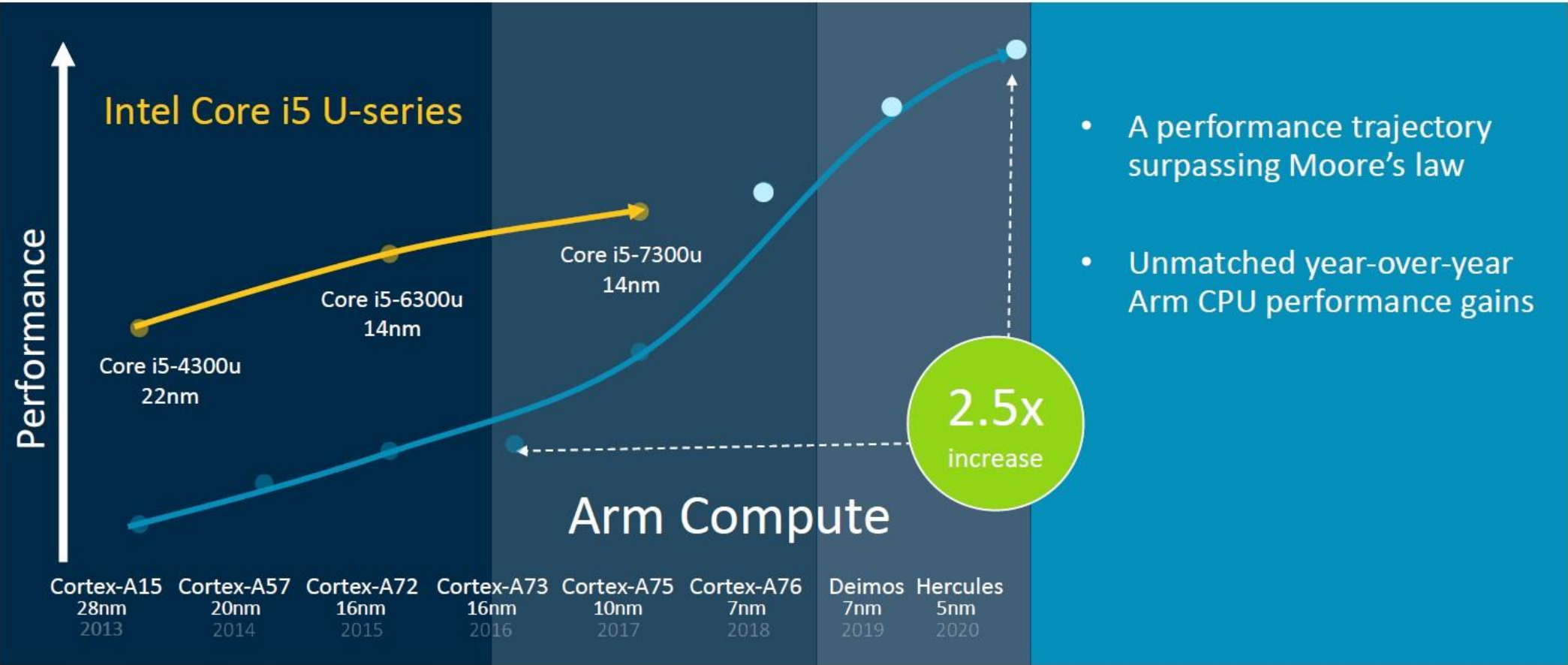
Comparing
16-bit
multiply
operations
across
processor
architectures

8-bit example		16-bit example	ARM Cortex-M
MOV A, XL ; 2 bytes	MUL AB; 1 byte	MOV R4,&0130h	MULS r0,r1,r0
MOV B, YL ; 3 bytes	ADD A, R1; 1 byte	MOV R5,&0138h	
MUL AB; 1 byte	MOV R1, A; 1 byte	MOV SumLo,R6	(Operands are moved to and from a memory mapped hardware multiply unit)
MOV R0, A; 1 byte	MOV A, B ; 2 bytes	MOV SumHi,R7	
MOV R1, B; 3 bytes	ADDC A, R2 ; 1 bytes		
MOV A, XL ; 2 bytes	MOV R2, A; 1 byte		
MOV B, YH ; 3 bytes	MOV A, XH ; 2 bytes		
MUL AB; 1 byte	MOV B, YH ; 3 bytes		
ADD A, R1; 1 byte	MUL AB; 1 byte		
MOV R1, A; 1 byte	ADD A, R2; 1 byte		
MOV A, B ; 2 bytes	MOV R2, A; 1 byte		
ADDC A, #0 ; 2 bytes	MOV A, B ; 2 bytes		
MOV R2, A; 1 byte	ADDC A, #0 ; 2 bytes		
MOV A, XH ; 2 bytes	MOV R3, A; 1 byte		
MOV B, YL ; 3 bytes			

N.B. The Cortex-M multiply in fact performs a 32-bit multiply, here we assume r0 and r1 contain 16-bit data.

- **ARM** = **A**dvanced **R**isc **M**achine
- Développé par **Acorn computers** en 1983
- Architecture simple, très versatile (polyvalent)
- Temps réel.
- Haute performance, bas prix, efficace en consommation
- Leader dans l'architecture de processeurs **16/32bits**.
- Facilement intégrable dans un SoC (Système sur puce)
- Un des processeurs les plus utilisés au monde (**75% des puces 32 bits embarquées**)
- Utilisation principale: appareils portables (tablettes, smartphones), robotique, automation, multimédia, grand public

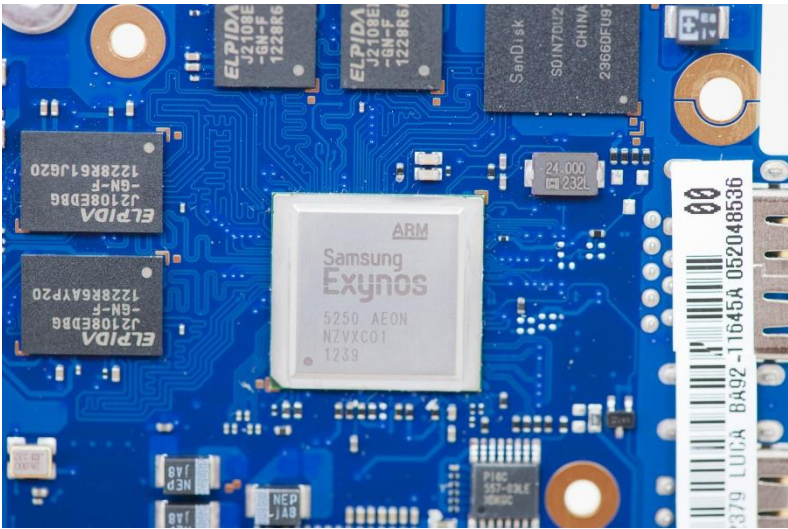
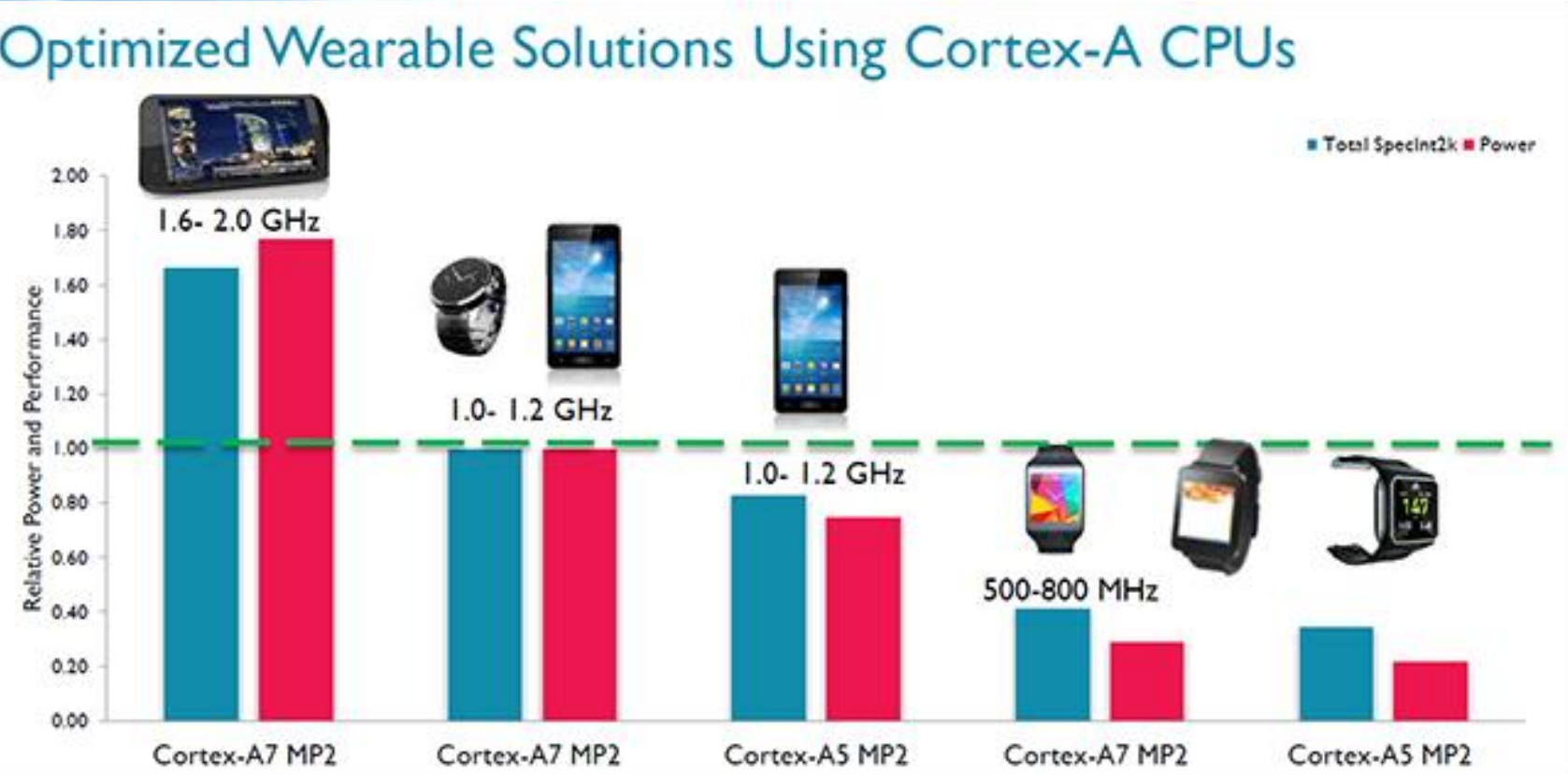
Path to Compute performance leadership with efficiency



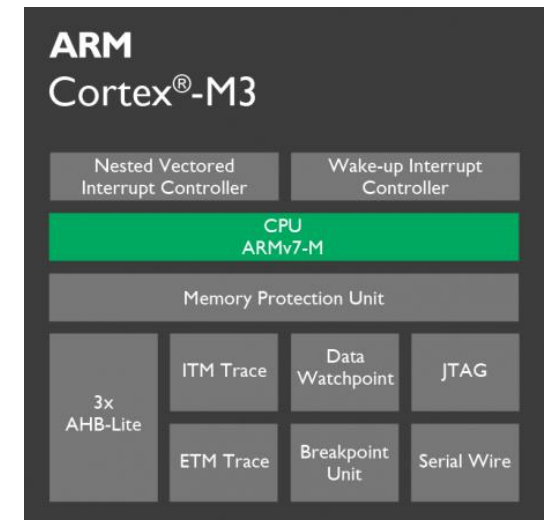
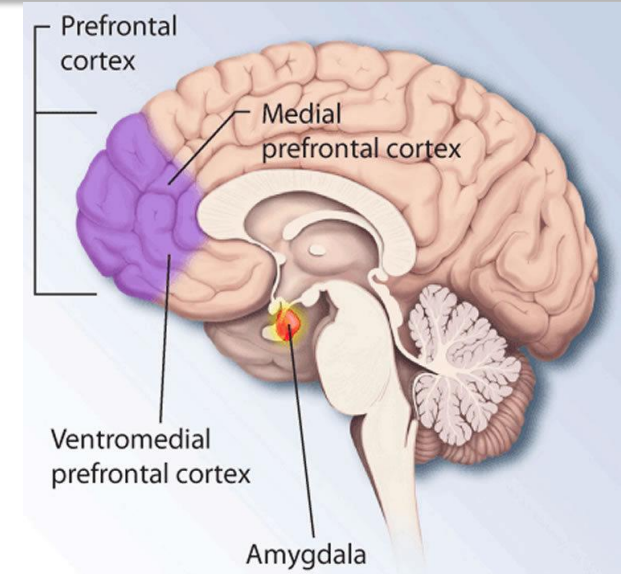
- A performance trajectory surpassing Moore's law
- Unmatched year-over-year Arm CPU performance gains

Single-core performance based on SPECINT2k6, Intel measured, Arm Compute estimated
Graph not to scale

L'ARM est utilisé dans les Smartphones, Smartwatches, et les cartes: Samsung, iPhone, Raspberry Pi, ...



- Le nom "**Cortex**" pour les processeurs ARM a été choisi pour évoquer les connexions du cerveau humain, faisant référence à l'intelligence et à la flexibilité.
- **ARM** a choisi le nom "**Cortex**" pour symboliser la puissance de traitement intelligente et adaptable de ses processeurs, qui peuvent être utilisés dans une grande variété d'applications, de l'informatique mobile aux systèmes embarqués complexes.



La Série ARM Cortex

Cortex - A

Highest performance

Optimised for
rich operating systems

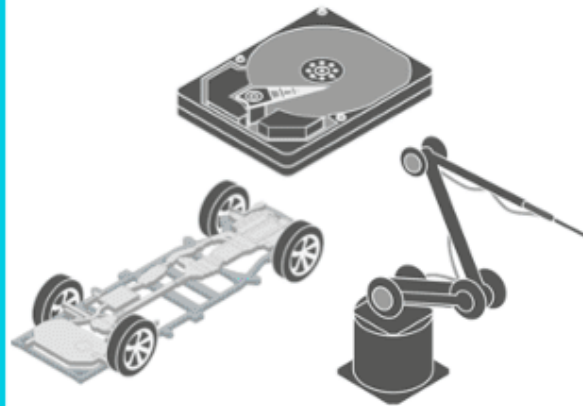


smartphones, les tablettes, les ordinateurs portables et d'autres appareils mobiles

Cortex - R

Fast response

Optimised for
high performance,
hard real-time applications



Systèmes embarqués en temps réel, tels que les contrôleurs de vol, les modems de communication et les systèmes de contrôle industriel

Cortex - M

Smallest/lowest power

Optimised for
discrete processing and
microcontrollers



les microcontrôleurs et les systèmes embarqués à faible consommation d'énergie: IoT, les dispositifs médicaux, les jouets électroniques et d'autres appareils alimentés par batterie

Taking the Cortex-M Series to the Next Level

M0: Alternative pour les processeurs 8 bits, processeur 32 bits très basse consommation.

M1: Implémentés dans des processeurs FPGA

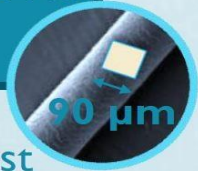
M3: Haute performance à basse consommation

M4: Processeur avec fonction DSP, optimisation mathématiques et virgule flottante simple précision.

M7: Processeur très haute performance



Lowest
Area



Highest
Energy Efficiency



Energy-Performance
Balance



Blended
MCU and DSP



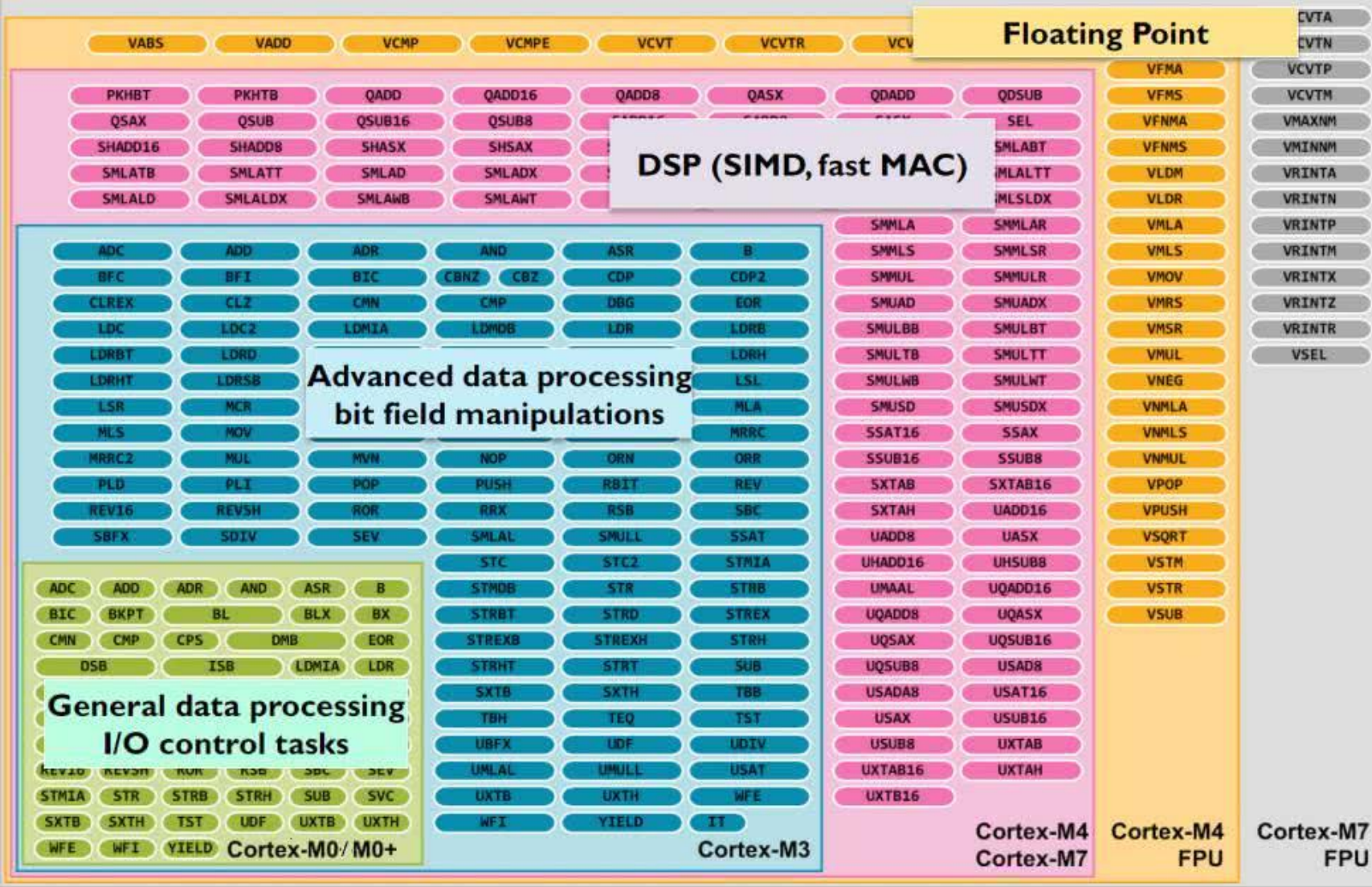
Highest
Performance



Scalable & Compatible ISA : Instruction Set Architecture

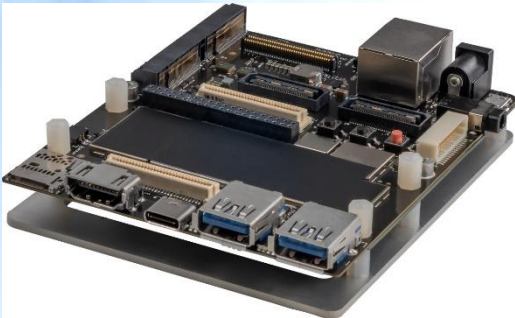
CH2: Architecture ARM

ARM Cortex-M Instruction Set Architecture



Plusieurs cartes de développement pour ARM

Snapdragon 888 Mobile Hardware Development Kit (Cortex-A72/A73)



Jetson AGX Xavier for AI & Robotics (8-core ARM v8.2)



Qualcomm RB5 Robotics Platform (Cortex-A77)



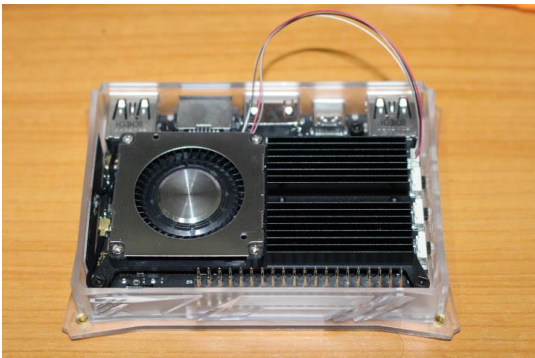
Raspberry Pi 4 Model B (Cortex-A72)



HoneyComb LX2K SBC – High-speed networking and Arm workstation (Cortex-A72)



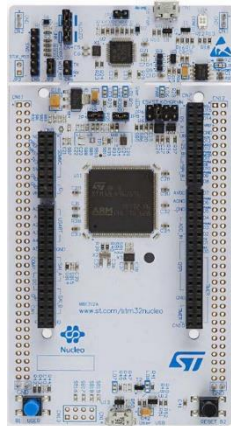
Khadas VIM3 Pro SBC – Cortex-A73 for bleeding-edge software (logiciel à la pointe de la technologie)



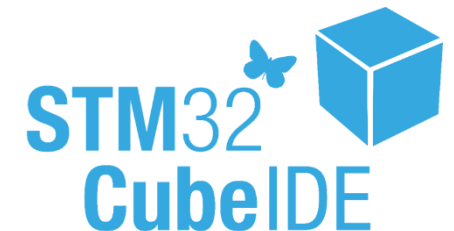
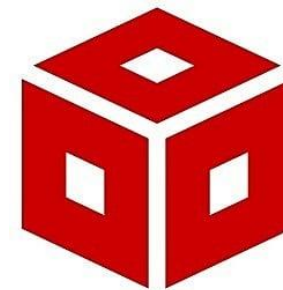
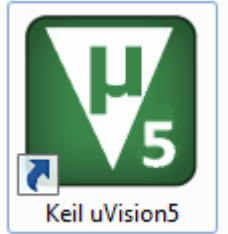
BeagleBone Black : Low cost ARM Cortex-A8



Famille STM 32 Exemple:NUCLEO-L4R5ZI-P



- Les outils de développement pour les microcontrôleurs ARM Cortex-M 32 bits, sont nombreux.
- **IDE**: **I**ntegrated **D**evelopment **E**nvironments
- Voir la page Wikipédia: **List of ARM Cortex-M development tools**.
- **Exemples**:
 - Keil μ Vision
 - IAR Embedded Workbench
 - ARM Development Studio (DS-5)
 - PlatformIO
 - Eclipse with GNU ARM Eclipse Plugins
 - Visual Studio Code (VSCode) with PlatformIO Extension
 - ARM Development Studio 5
 - Code Composer Studio
 - STM32CubeIDE by ST
 - ...



Présentation de la carte de développement pour ARM: NUCLEO-F401RE

• Carte de développement:

Série de MCU dans les MCU
Arm Cortex STM32. F:
Applications générales

Gamme de produits
STM32 dans la série

NUCLEO-F401RE

Nombre de broches du package STM32;
R: 64 broches

Taille de la mémoire Flash STM32: E: 512ko

• Caractéristiques:

- STM32 microcontroller in an LQFP64 or LQFP48 package
- 1 user LED
- 1 user and 1 reset push-buttons
- 32.768 kHz crystal oscillator
- Board connectors:
 - ARDUINO® Uno V3 expansion connector
 - ST morpho extension pin headers for full access to all STM32 I/Os
- Flexible power-supply options: ST-LINK USB V_{BUS} or external sources
- On-board ST-LINK debugger/programmer with USB re-enumeration capability: mass storage, Virtual COM port, and debug port
- Comprehensive free software libraries and examples available with the STM32Cube MCU Package
- Support of a wide choice of Integrated Development Environments (IDEs) including IAR Embedded Workbench®, MDK-ARM, and STM32CubeIDE

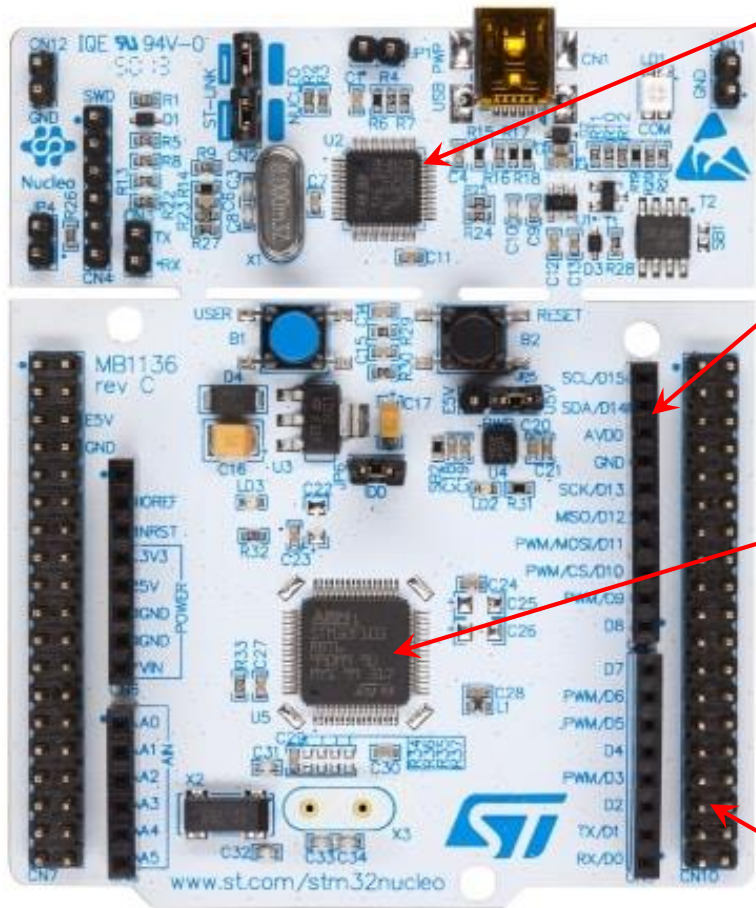
Board-specific features

- External SMPS (Switched Mode Power Supply) to generate V_{core} logic supply
- 24 MHz or 48 MHz HSE
- User USB Device full speed, or USB SNK/UFP full speed
- Cryptography
- Board connectors:
 - External SMPS experimentation dedicated connector
 - USB Type-C®, Micro-B, or Mini-B connector for the ST-LINK
 - USB Type-C® user connector
 - MIPI® debug connector

Présentation de la carte de développement pour ARM: NUCLEO-F401RE

Remarque: Voici quelques exemples de séries courantes de la famille STM32 :

- **STM32F** : Cette série est basée sur le cœur ARM Cortex-M4 ou Cortex-M7 et est largement utilisée pour une variété d'applications, y compris les systèmes embarqués, l'automatisation industrielle, l'IoT, etc.
- **STM32L** : Cette série est conçue pour une faible consommation d'énergie, ce qui la rend adaptée aux applications alimentées par batterie ou nécessitant une efficacité énergétique élevée.
- **STM32H** : Cette série est optimisée pour les performances, offrant des fréquences d'horloge élevées et des fonctionnalités avancées. Elle est adaptée aux applications exigeantes en termes de performances, comme le traitement d'image et d'autres applications intensives en calcul.
- **STM32G** : Cette série est conçue pour une efficacité énergétique et des performances élevées, avec un équilibre entre les deux. Elle est souvent utilisée dans les applications industrielles et grand public.
- **STM32WB** : Cette série prend en charge à la fois le protocole Bluetooth Low Energy (BLE) et les communications sans fil Wi-Fi, ce qui en fait un choix populaire pour les applications IoT nécessitant une connectivité sans fil.
- **STM32MP** : Cette série est basée sur une architecture processeur multicœur, combinant des cœurs ARM Cortex-A et Cortex-M. Elle est utilisée dans les applications nécessitant à la fois la puissance de traitement d'une unité de traitement d'application (AP) et la gestion temps réel d'une unité de traitement en temps réel (RTPU).

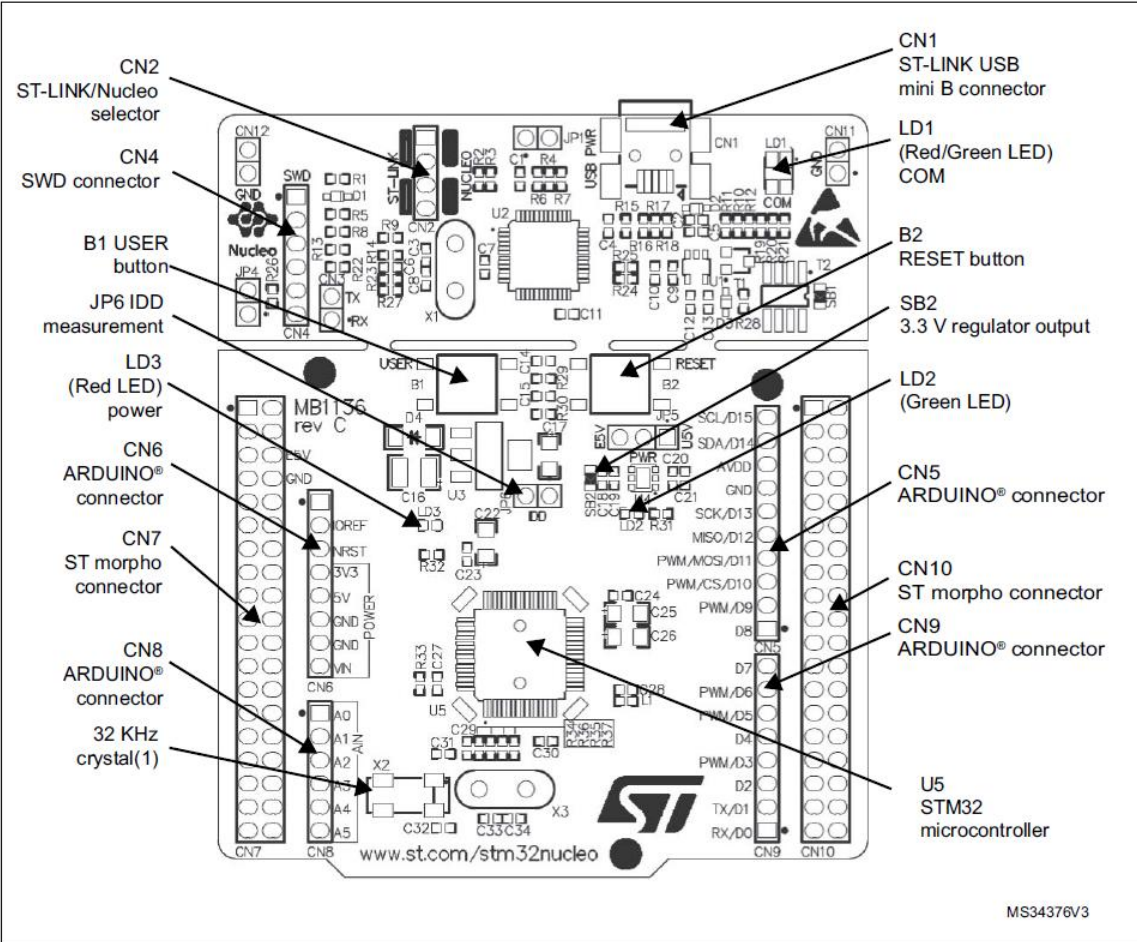


ST-LINK: Partie pour programmation flash et de débogage

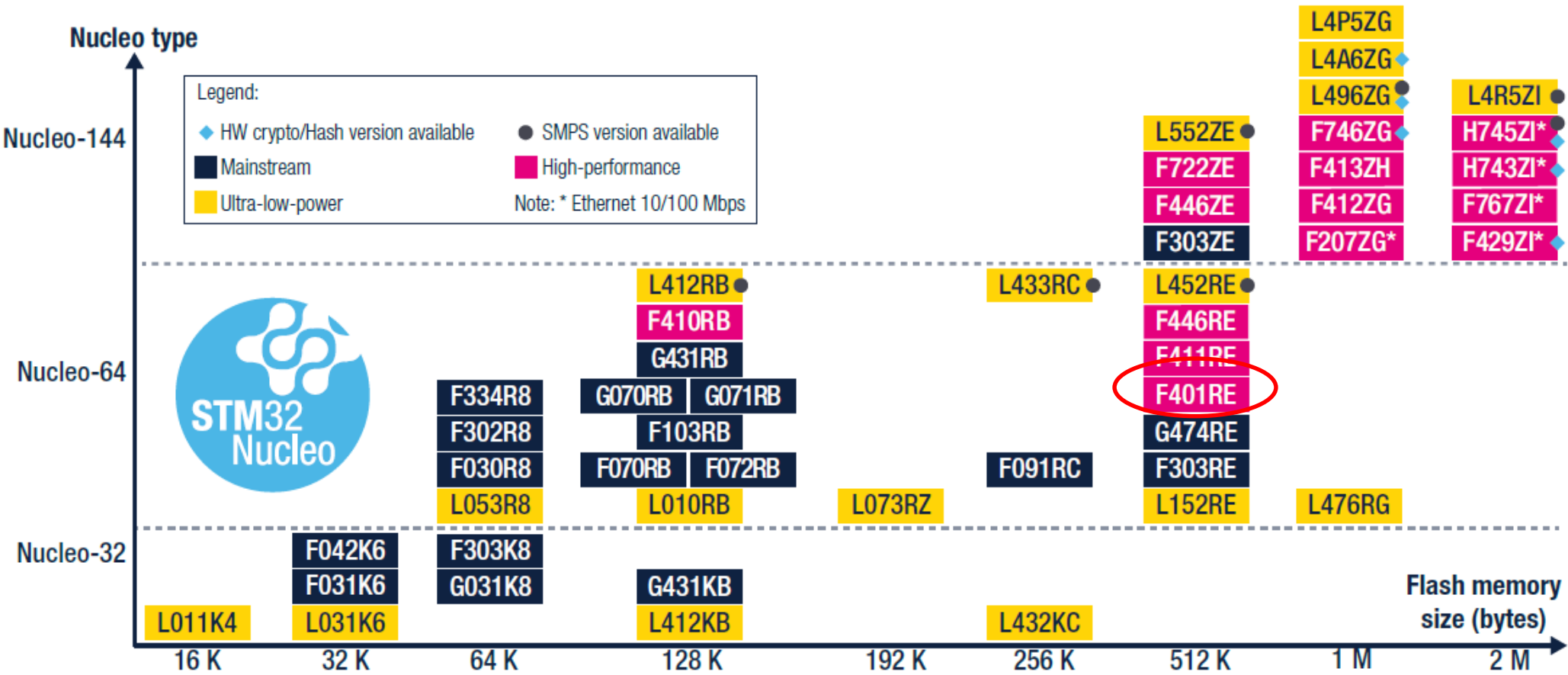
Connecteurs Arduino Uno et ST Zio :accès facile aux modules complémentaires

Microcontrôleur STM32 64 Broches

Broches d'extension ST morpho : accès direct à toutes les E/S du MCU



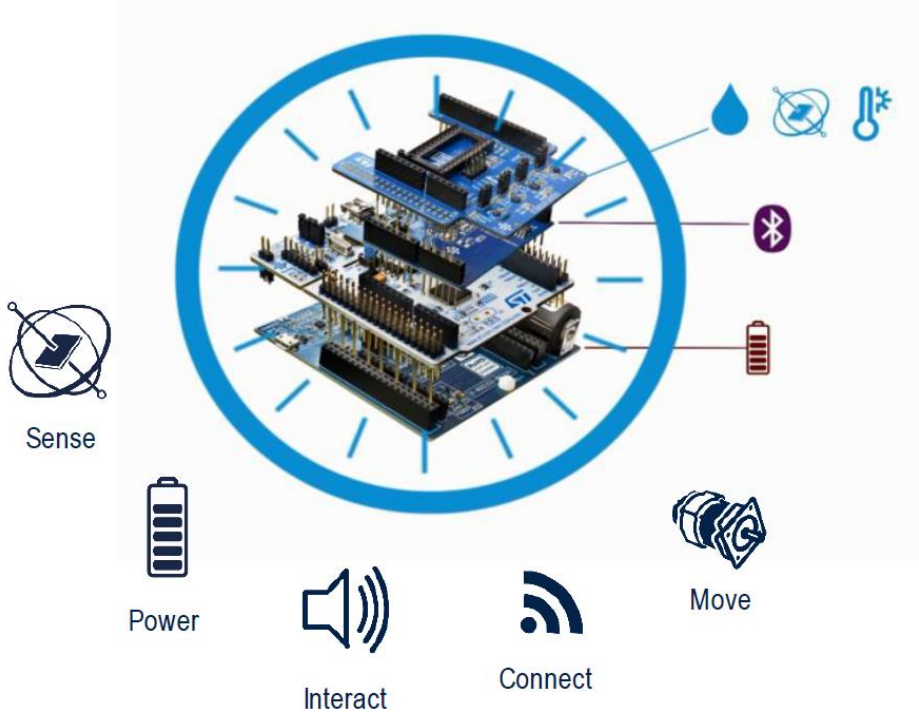
STM32 Nucleo board portfolio



Cartes STM32 Nucleo disponibles:

Ethernet		***
USB		***
ST Zio (Uno extended)		***
Arduino Uno ST morpho		**
Arduino Nano	*	
	Nucleo-32 32-pin MCU	Nucleo-64 64-pin MCU
		Nucleo-144 144-pin MCU

Association avec les shields



Sensors and analog	Communication	Motor drive	Translate
 X-NUCLEO-IKS02A1 MOTION AND ENVIRONMENTAL SENSORS	 X-NUCLEO-NFC07A1 DYNAMIC NFC TAG	 X-NUCLEO-IHM15A1 DUAL BRUSH DC MOTOR DRIVER	 X-NUCLEO-IKA01A1 MULTIFUNCTIONAL EXPANSION BASED ON OPERATIONAL AMPLIFIERS
 X-NUCLEO-IKS01A3 MOTION AND ENVIRONMENTAL SENSORS	 X-NUCLEO-NFC08A1 NFC CARD READER	 X-NUCLEO-IHM13A1 LOW VOLTAGE BRUSHED DC MOTOR DRIVER	 X-NUCLEO-CCA01M1 SOUND TERMINAL
 X-Nucleo-53L8A1 PROXIMITY SENSOR	 X-NUCLEO-PLM01A1 POWER LINE COMMUNICATION	 X-NUCLEO-IHM16M1 THREE-PHASE BRUSHLESS MOTOR DRIVER	 X-NUCLEO-LED61A1 LED DRIVER
 X-NUCLEO-CCA02M2 DIGITAL MICROPHONE	 X-NUCLEO-GNSS2A1 ASSISTED GNSS	 X-NUCLEO-IHM07M1 THREE-PHASE BRUSHLESS DC MOTOR DRIVER	 X-NUCLEO-LED61A1 LED DRIVER
 X-NUCLEO-AMICAM1 ANALOG MICROPHONE	 X-NUCLEO-DRP1M1 USB TYPE-C	 X-NUCLEO-IHM17M1 LOW VOLTAGE THREE-PHASE BRUSHLESS DC MOTOR DRIVER	 X-NUCLEO-GFX01M2 GRAPHICAL DISPLAY
 life.augmented	 X-NUCLEO-SAFE1 SECURE ELEMENT	 More references at: www.st.com/x-nucleo	 X-NUCLEO-LPM01A POWER PROFILER

- Lien:

<https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f401re.html#>

- Datasheet: **DB2196**

- Manuels d'utilisation: **UM1724**

- Schémas électronique: **MB1136**

- Manuel de programmation: **PM0214**

- Reference Manual (**Important**): **RM0368**

(<https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f401/documentation.html>)

Product Specifications (1)

 **DB2196** STM32 Nucleo-64 boards

User Manuals (2)

 **UM1724** STM32 Nucleo-64 boards (MB1136)

 **UM1727** Getting started with STM32 Nucleo board software development tools

Schematic Pack (3)

 **MB1136-DEFAULT-C03** Board schematic

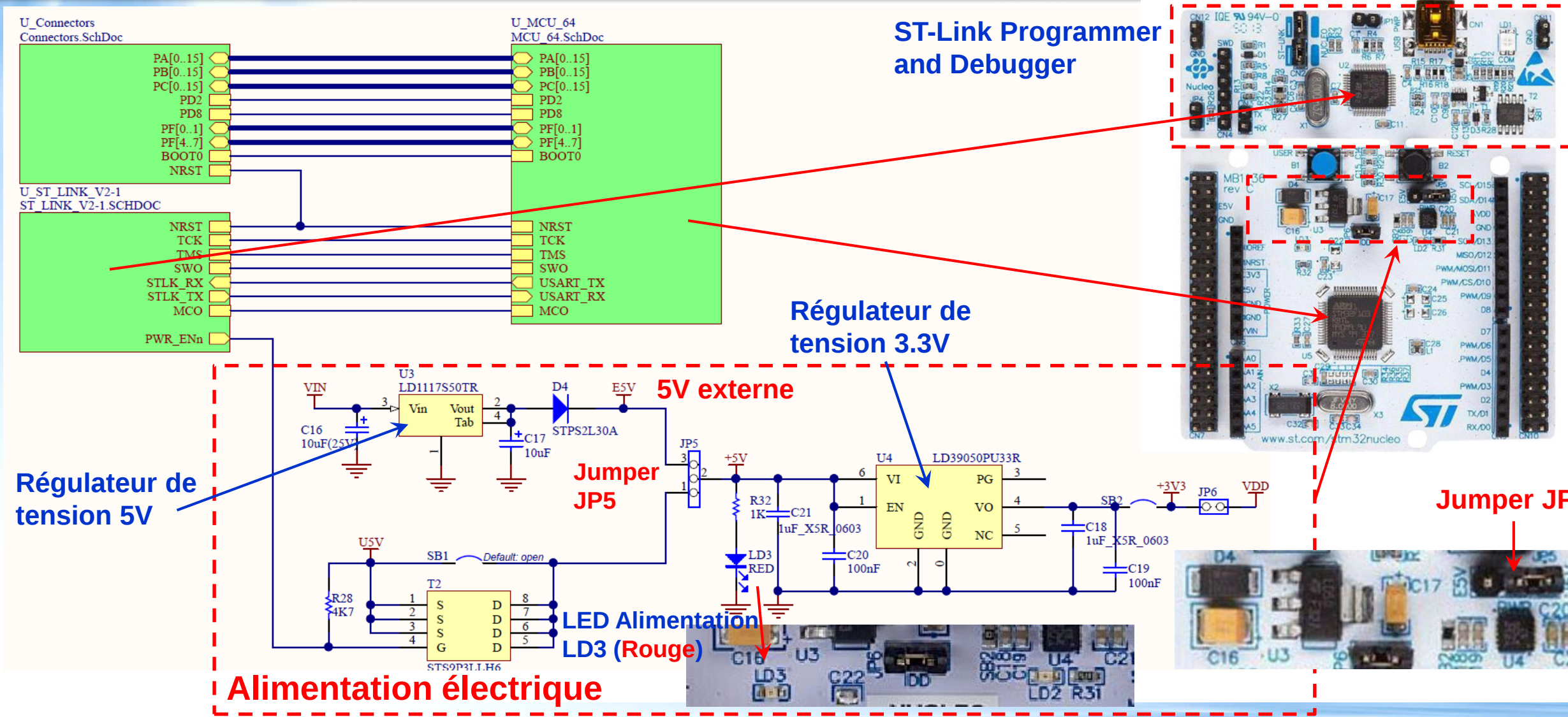
Reference Manual (1)

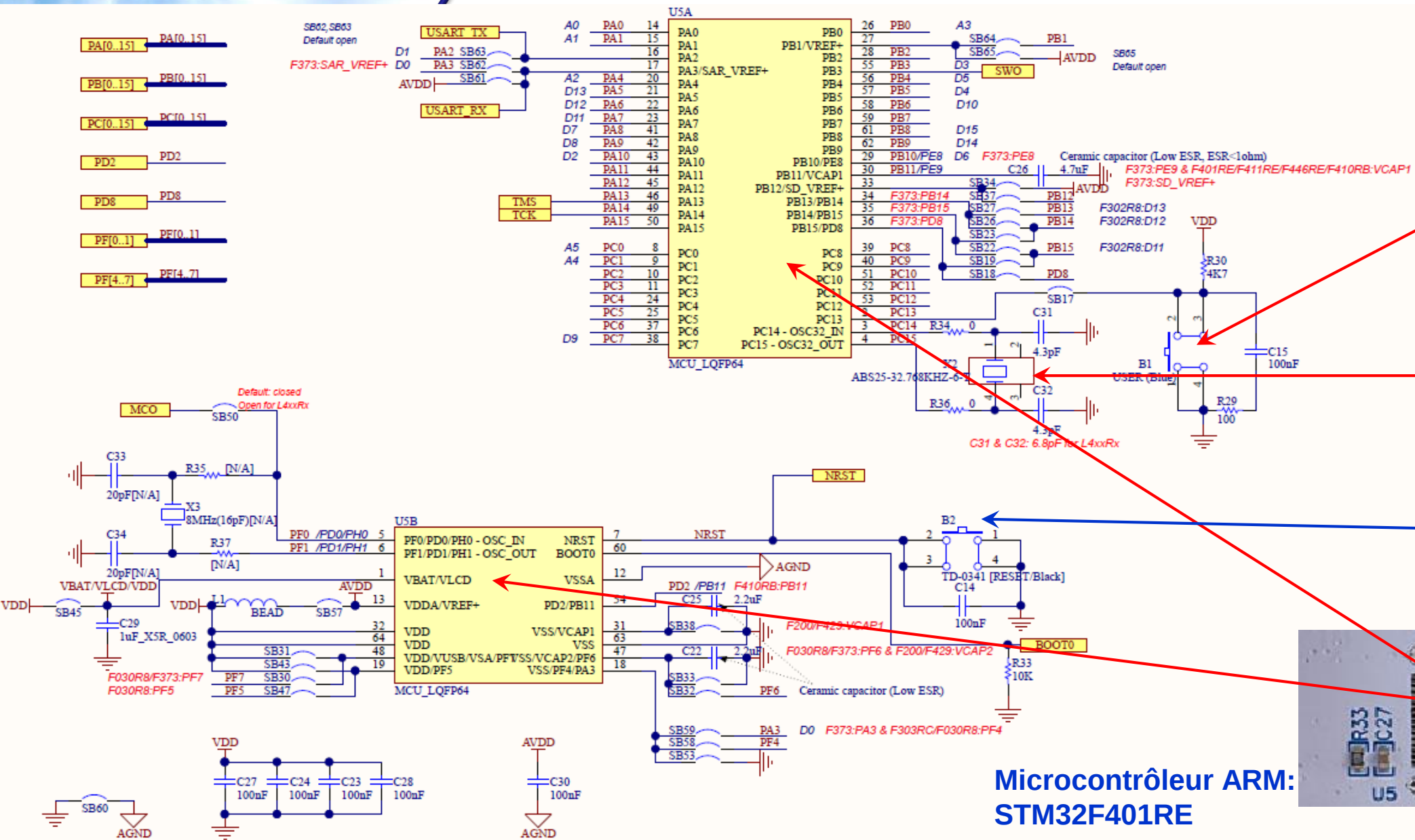
Download (0)

Resource Title ↕

 **RM0368** STM32F401xB/C and STM32F401xD/E advanced Arm®-based 32-bit MCUs

Schéma de Principe de la carte NUCLEO-F401RE





Bouton poussoir utilisateur B1 (Bleu)



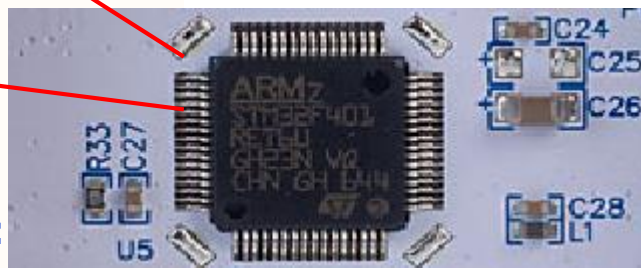
Oscillateur interne (X2)



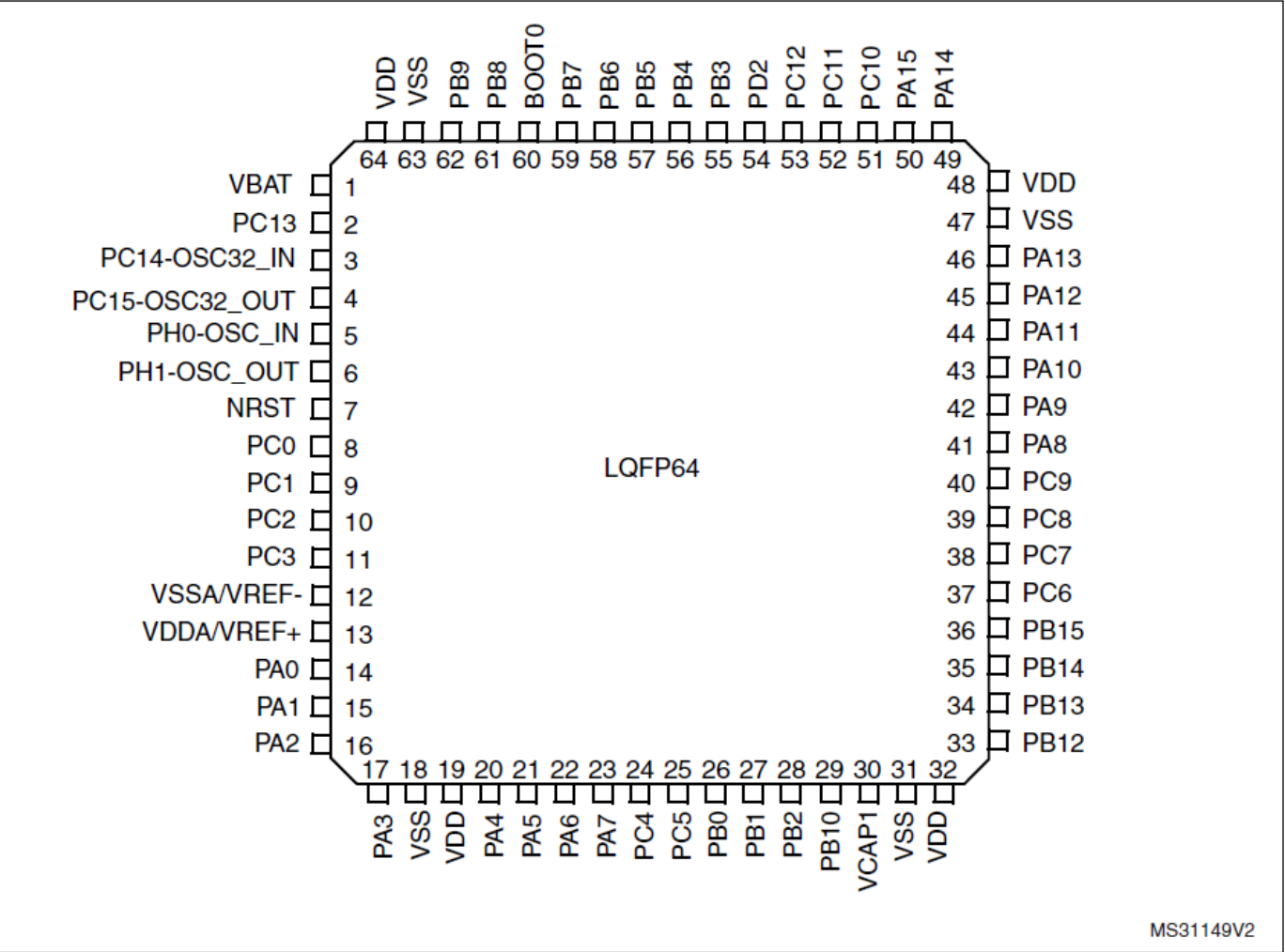
Bouton poussoir RESET (Noir)



Microcontrôleur ARM: STM32F401RE

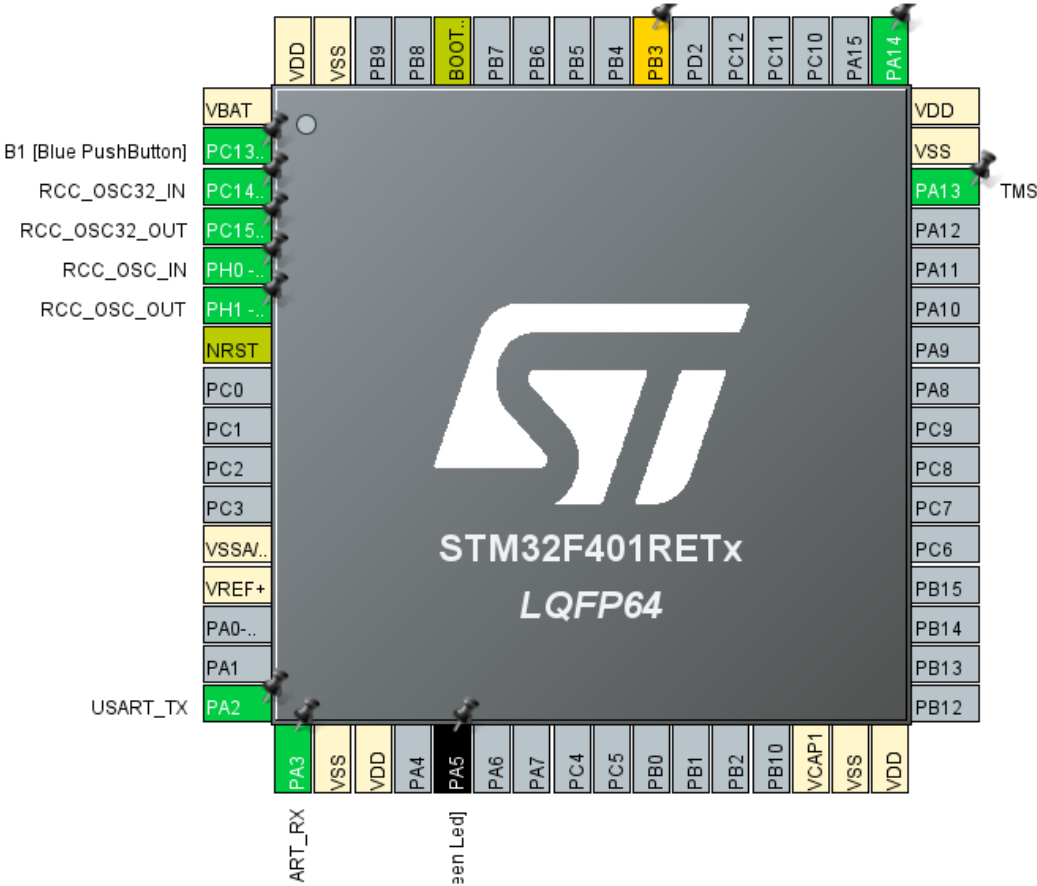


STM32F401xD/xE LQFP64 pinout

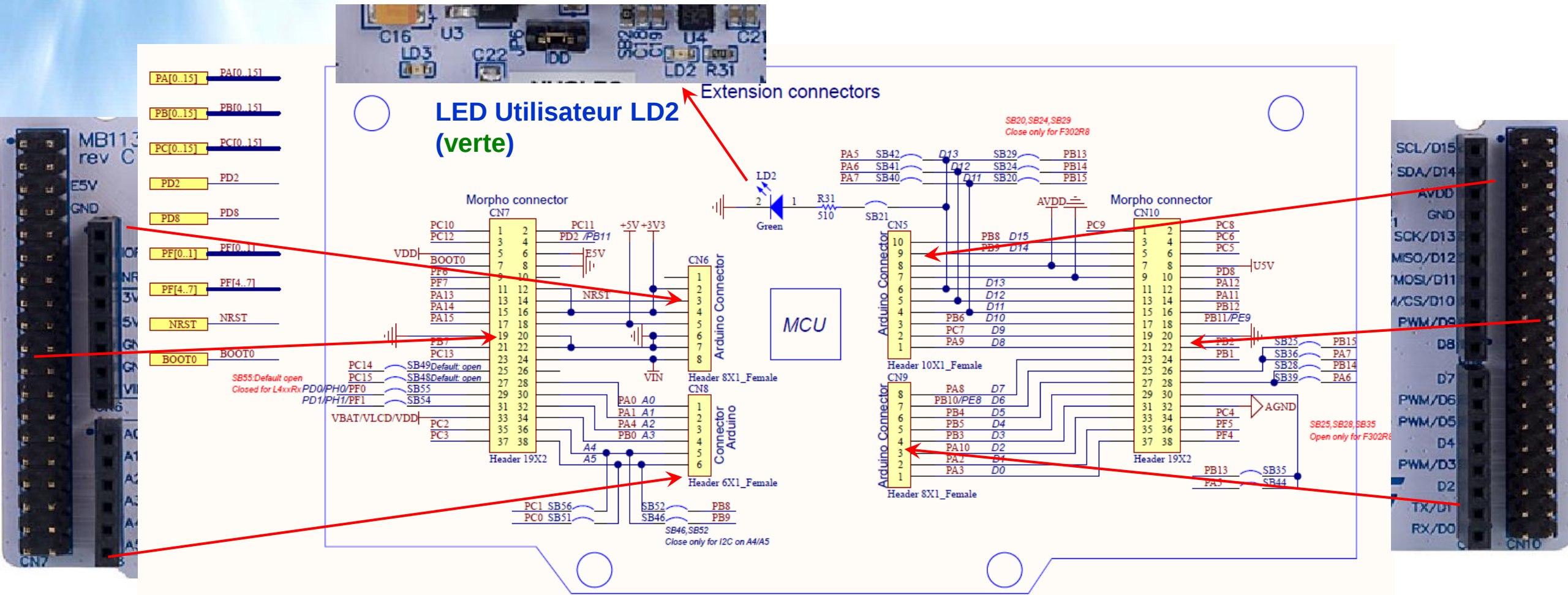


MS31149V2

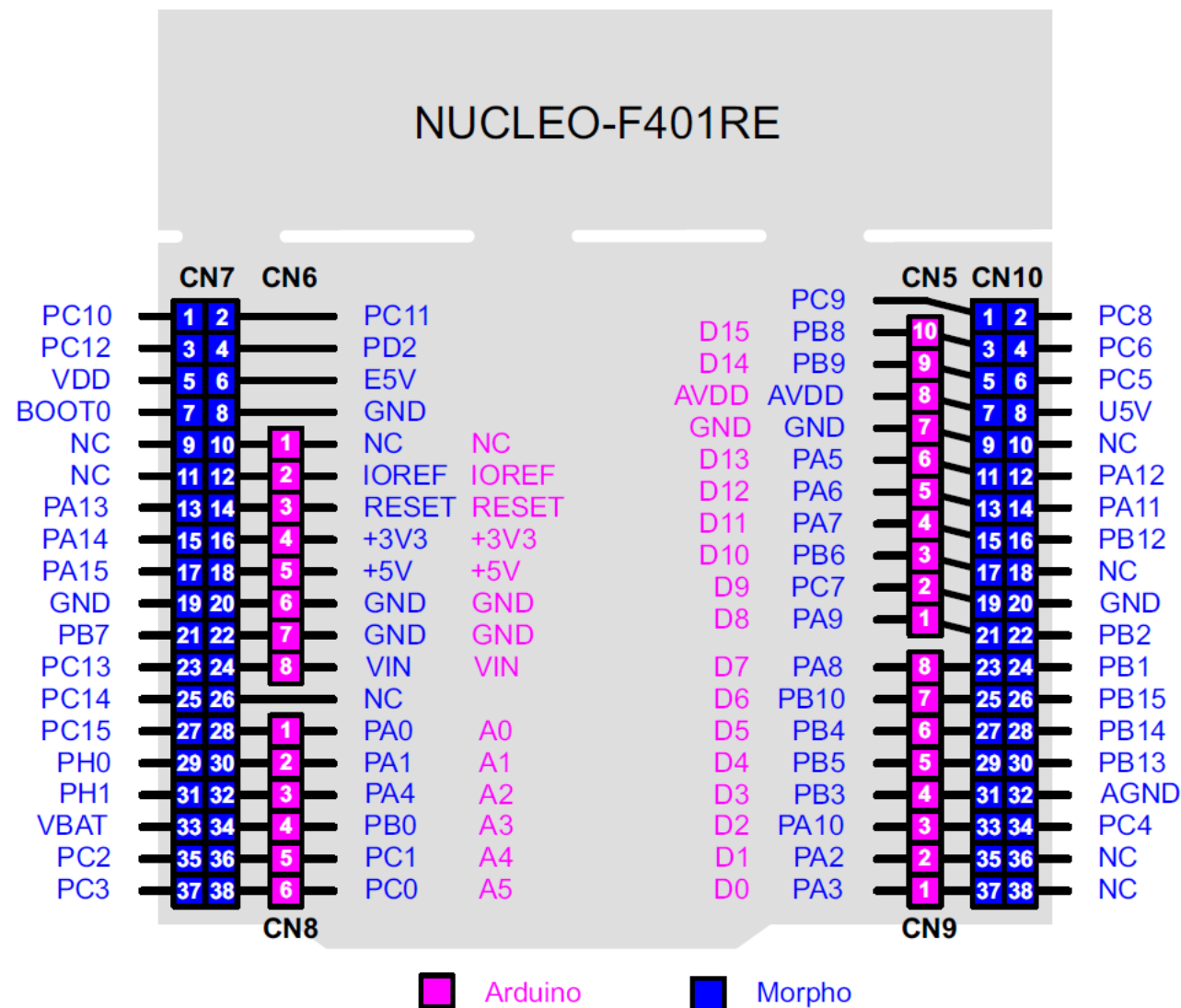
Image Logiciel STM32CubeIDE



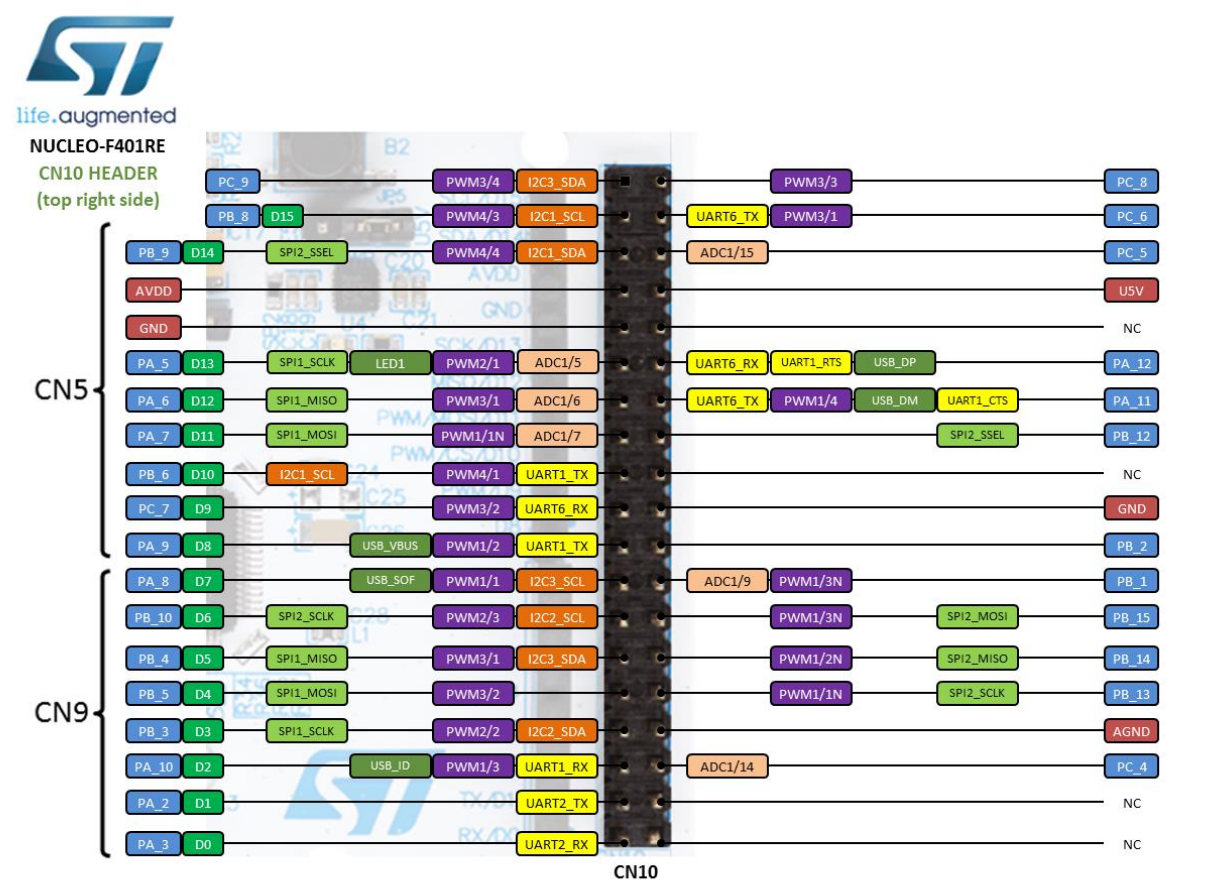
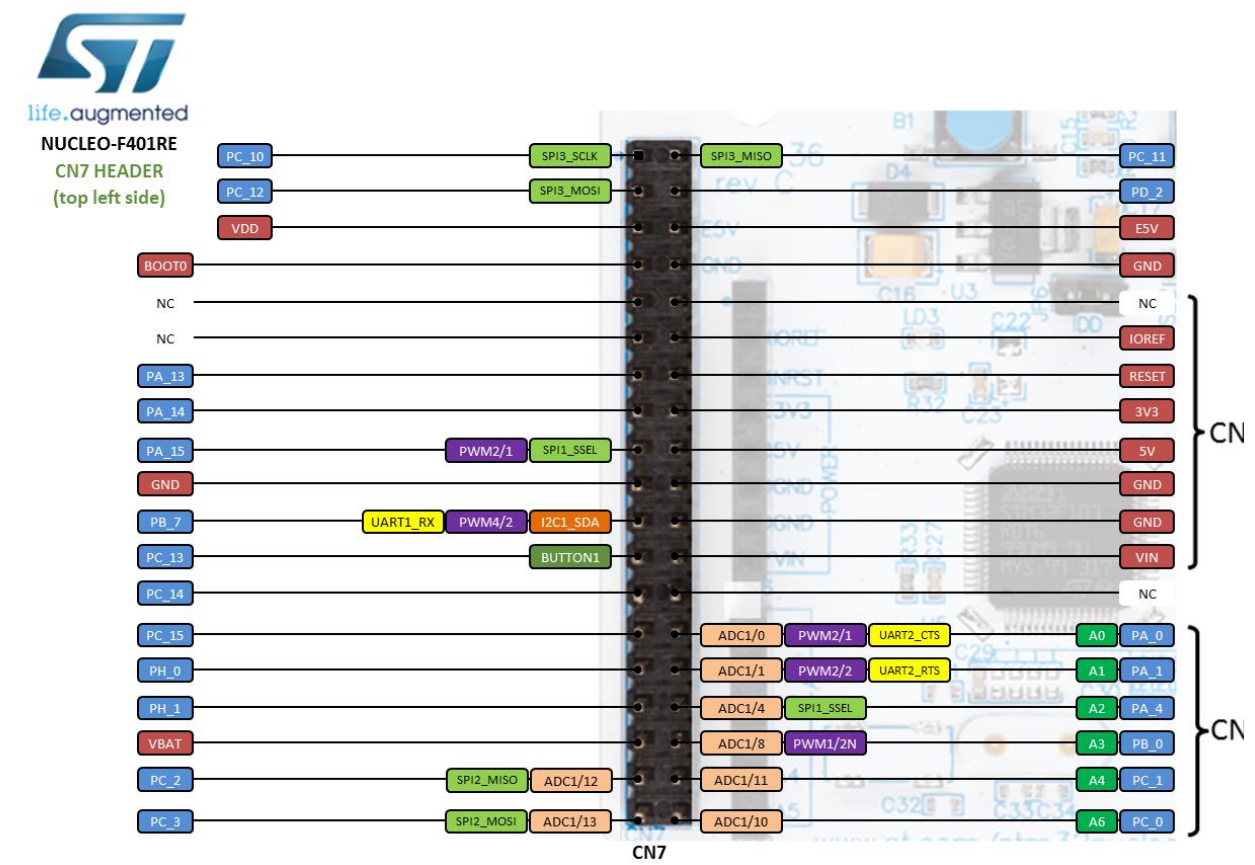
NUCLEO-F401RE: Les Connecteurs d'extension



NUCLEO-F401RE: Les Connecteurs d'extension

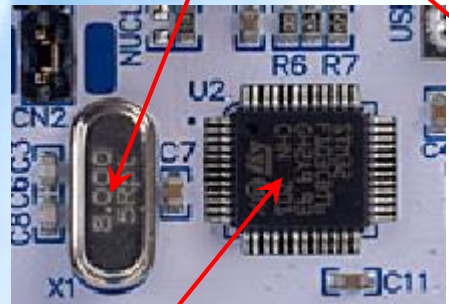


NUCLEO-F401RE: Les Connecteurs d'extension



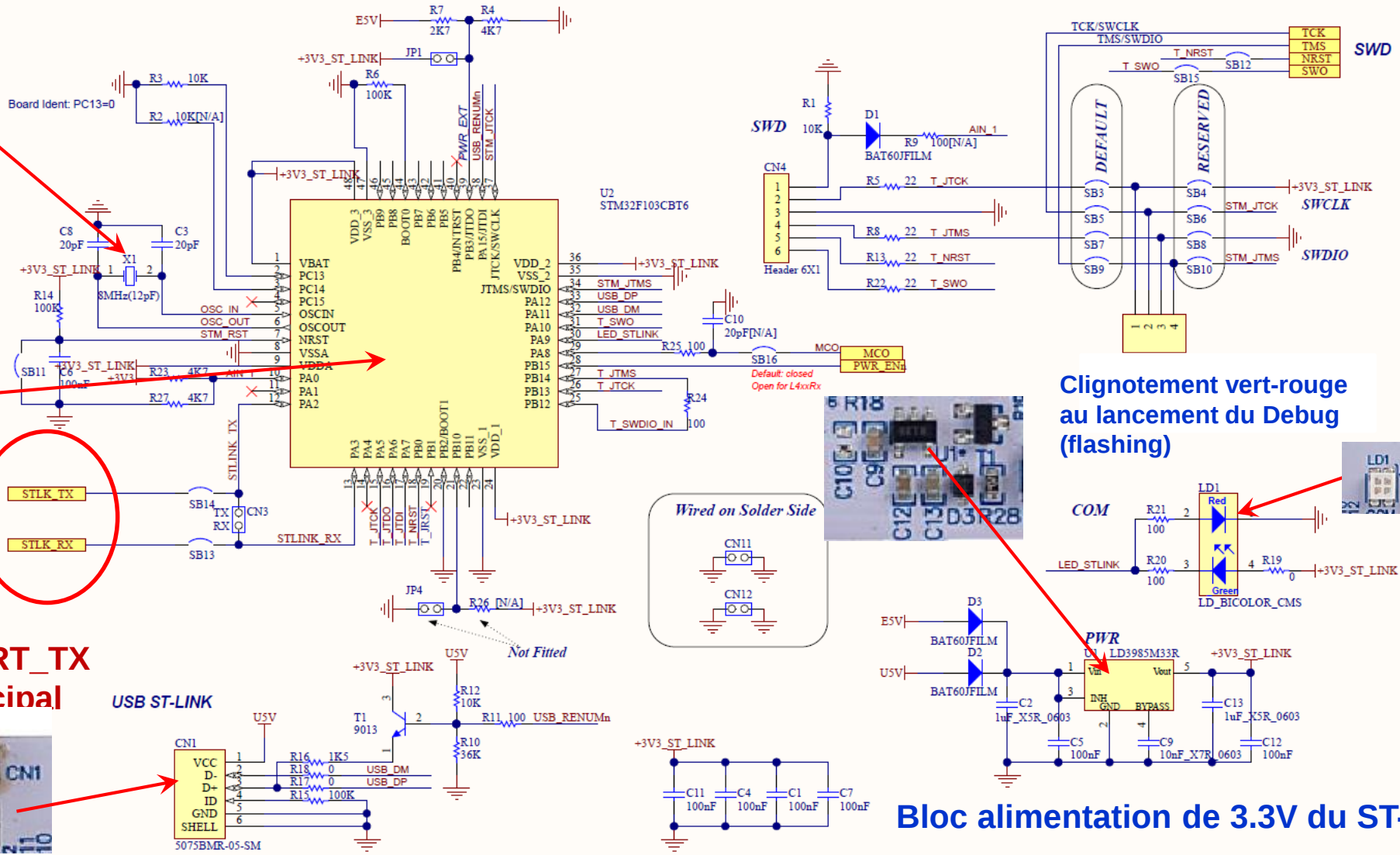
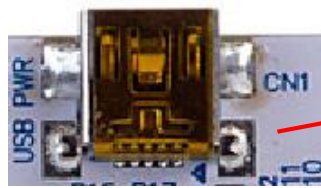
NUCLEO-F401RE: Partie de Flashing STM32F103CBT6

Oscillateur interne (X1)



USB ST-LINK:
Microcontrôleur
STM32F103CBT6 pour
le “flashing” du
programme et
débogage

Vers USART_RX et USART_TX
du microcontrôleur principal



Clignotement vert-rouge
au lancement du Debug
(flashing)

Bloc alimentation de 3.3V du ST-LINK

Architecture du Microcontrôleur ARM: STM32F401RE

System

Power supply

1.2V internal regulator
POR/PDR/PVD/BOR

Xtal oscillators

32 kHz + 4 ~26 MHz

Internal RC oscillators

32 kHz + 16 MHz

PLL

Clock control

RTC/AWU

2x watchdogs
(independent + window)

36/50/81 I/Os

Cyclic redundancy
check (CRC)

96-bit unique ID

Voltage scaling

ART Accelerator™

Arm® Cortex®-M4

CPU 84 MHz

Floating point unit
(FPU)

Nested vector
interrupt controller
(NVIC)

JTAG/SW debug

Embedded trace
macrocell (ETM)

Memory protection unit
(MPU)

AHB-Lite bus matrix

APB bus

16-channel DMA

512-Kbyte
Flash memory

96-Kbyte SRAM

80-byte backup data

Connectivity

3x I²C

4x SPI (2x with I²S)

SDIO

USB 2.0 OTG FS

3x USART
LIN, smartcard, IrDA,
Modem control

Analog

1x 12-bit ADC 2.4 MSPS
16 channels / 0.41 µs

Temperature sensor

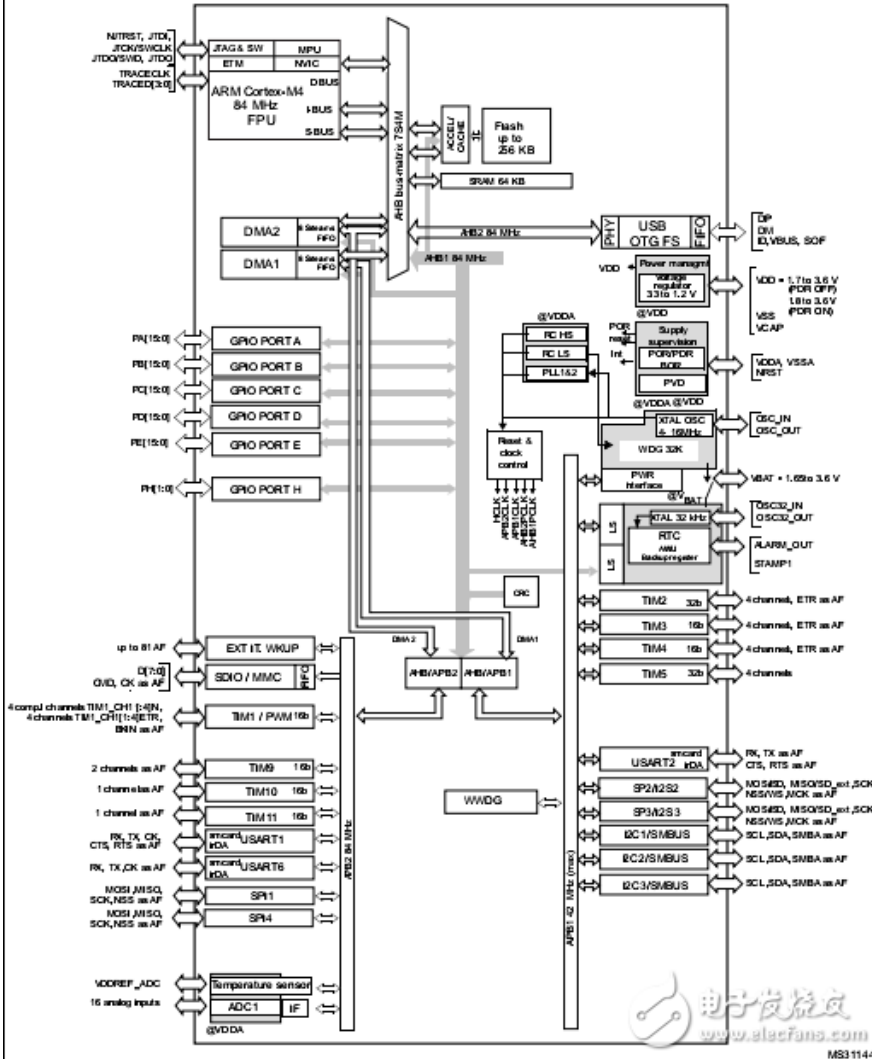
Control

5x 16-bit timer

1x 16-bit motor control
PWM synchronized
AC timer

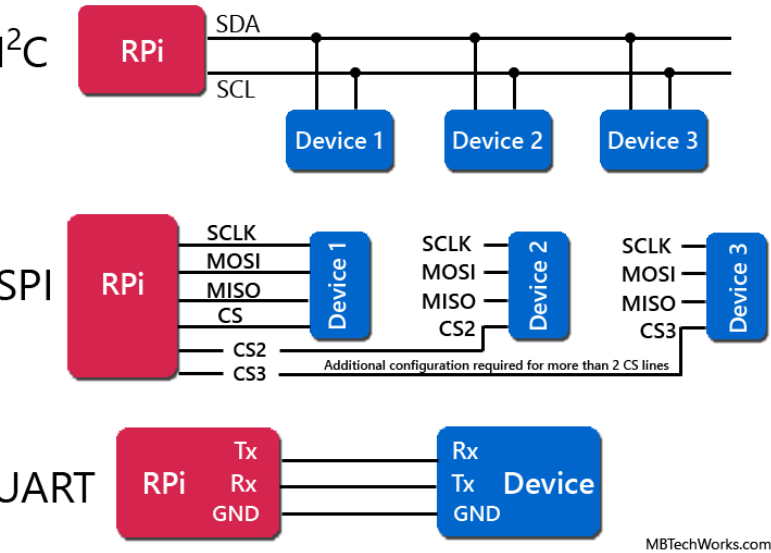
2x 32-bit timer

- ARM Cortex-M4 32b MCU+FPU,
- 105 DMIPS,
- 512KB Flash/96KB RAM,
- 11 TIMs,
- 1 ADC,
- 11 Comm. interfaces



Comparaison de quelques interfaces de communication

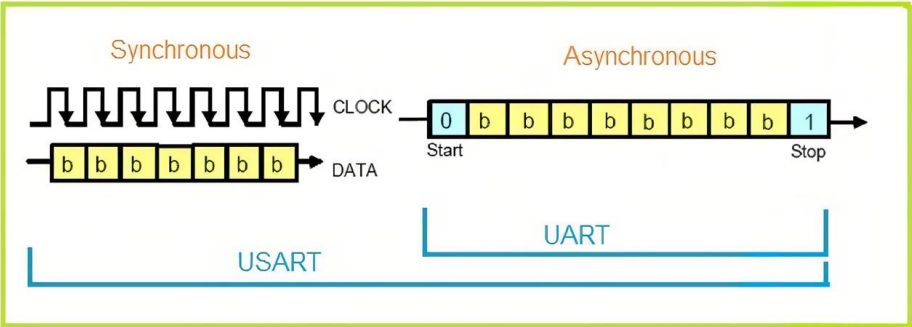
- **SPI**: Serial Peripheral Interface
- **I2C**: Inter-Integrated Circuit (“eye-squared-C”)
- **UART**: Universal Asynchronous Receiver Transmitter

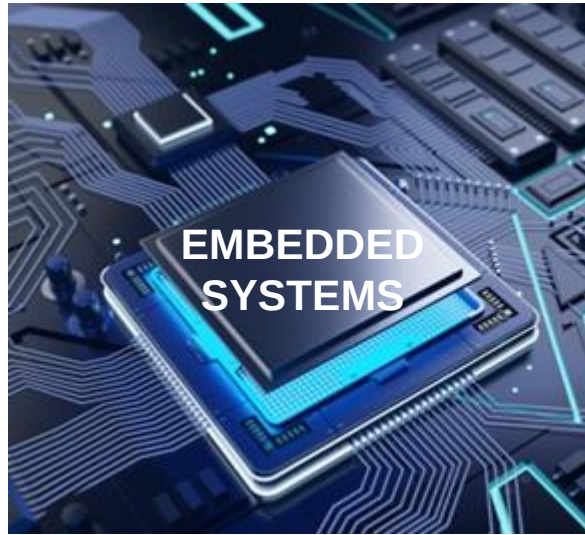


Protocol Série	UART	I ² C	SPI
Complexité du protocole	simple	pas complexe même en chaînant plusieurs appareils	C'est complexe à mesure qu'on augmente le nombre d'appareils
Mode	Asynchrone	Synchrone	Synchrone
Vitesse	le plus lent Max 921.6 kbit/s	Moyenne 3.4Mbps (High Speed)	Le plus rapide 25Mbps
Nombre d'appareils	Max 2	Jusqu'à 127	peut prendre de nombreux appareils mais cela devient complexe
Nombre de fils	2	2	4
Duplex	Full Duplex	Half Duplex	Full Duplex
nombre de maîtres et d'esclaves	Single to single	Plusieurs maitres et esclaves	Un maitre et plusieurs esclaves
Distance	15m	1m	20cm

USART: Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter

Base de comparaison	USART	UART
Avoir besoin	Signaux de données et d'horloge	Seul le signal de données
Données transmises sous forme de	Blocs (Trame)	Octets
Transmission des données	Taux fixe	Taux variable
Vitesse de transfert de données	Le mode synchrone fournit un taux élevé.	Pourrait varier de 4800, 9600, 38400 bps,
Mode utilisé	Half-duplex	Full-Duplex
La vitesse	Plus	Limité et comparativement moins





FIN !
Questions ?