

TIS4 IAI

- Implémentation d'algorithmes dans une cible embarquée
 - Généralités
 - Exemple : Traitement du signal ECG

Y. LAVAULT

- Entreprise AII BIOMEDICAL

J. POUJAUD

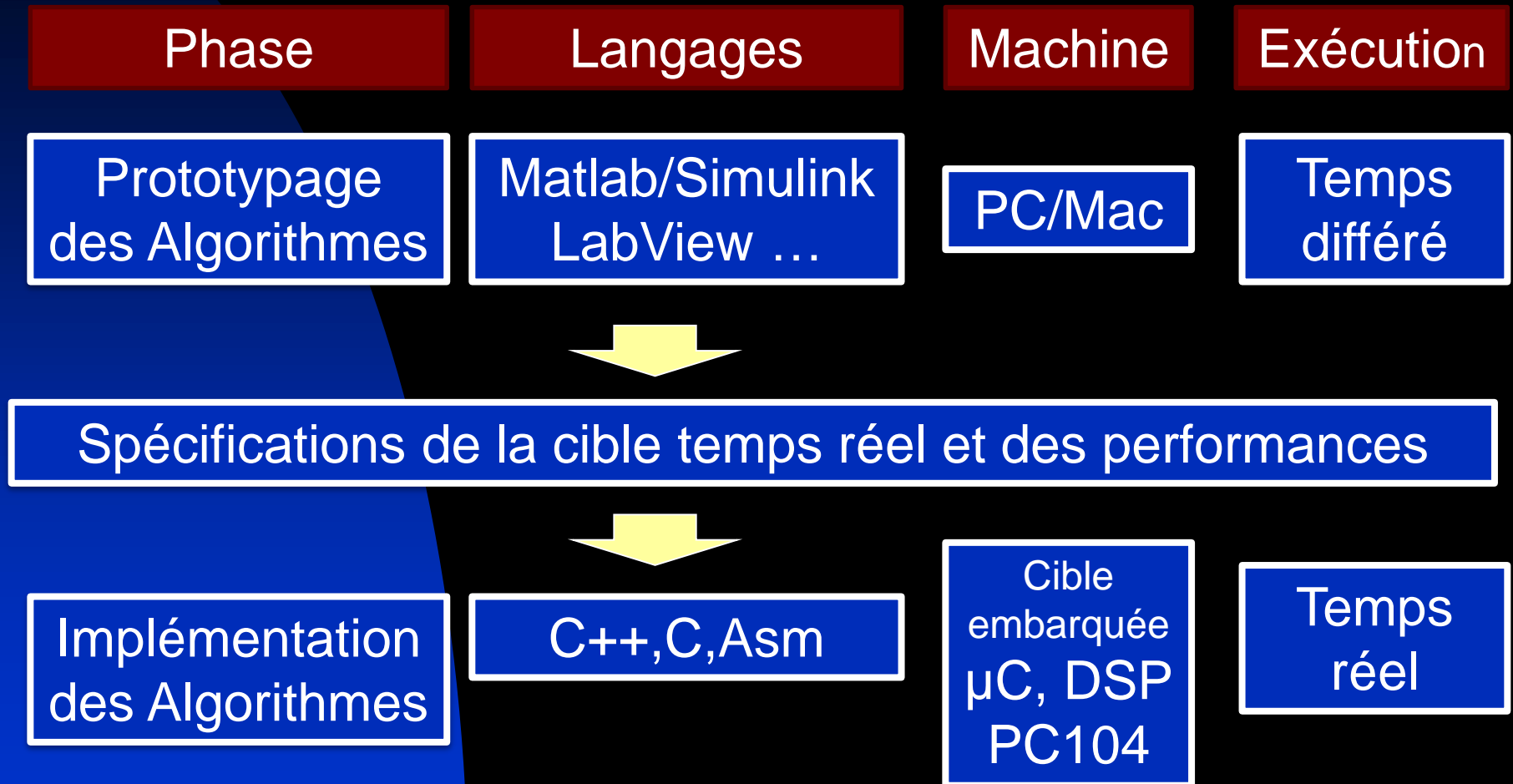
- Entreprise VIGILIO

Plan

- Phases de développement
- Prototypage
- Implémentation sur cible temps réel
- Implémentation temps réel
 - Ressources en puissance de traitement
 - Ressources en mémoire
 - Ressources en énergie
 - Outils de développement
- Exemple d'implémentation : Filtrage de l'ECG

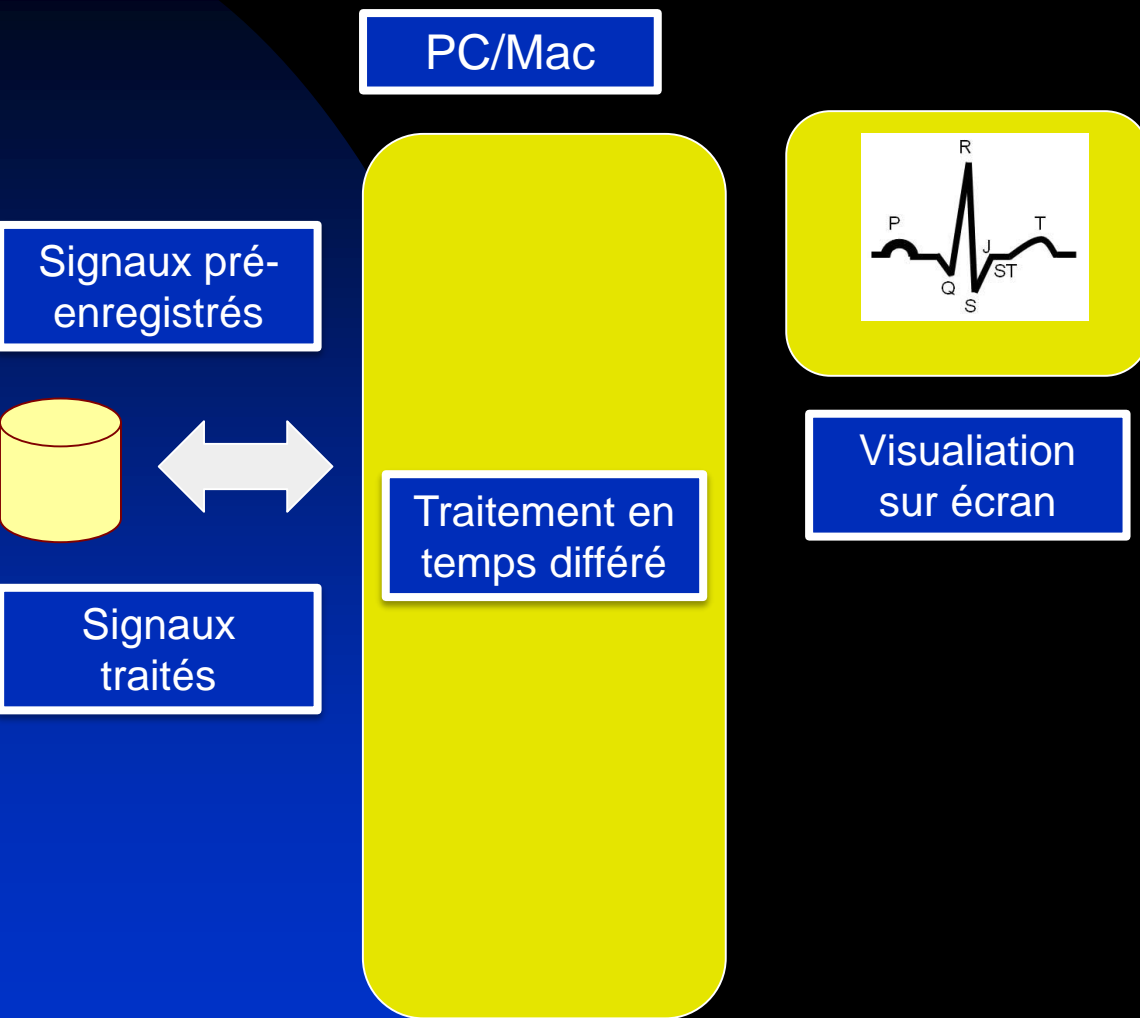
Implémentation d'algorithmes sur une cible embarquée

Phases de développement



Implémentation d'algorithmes sur une cible embarquée

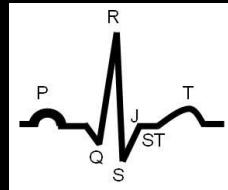
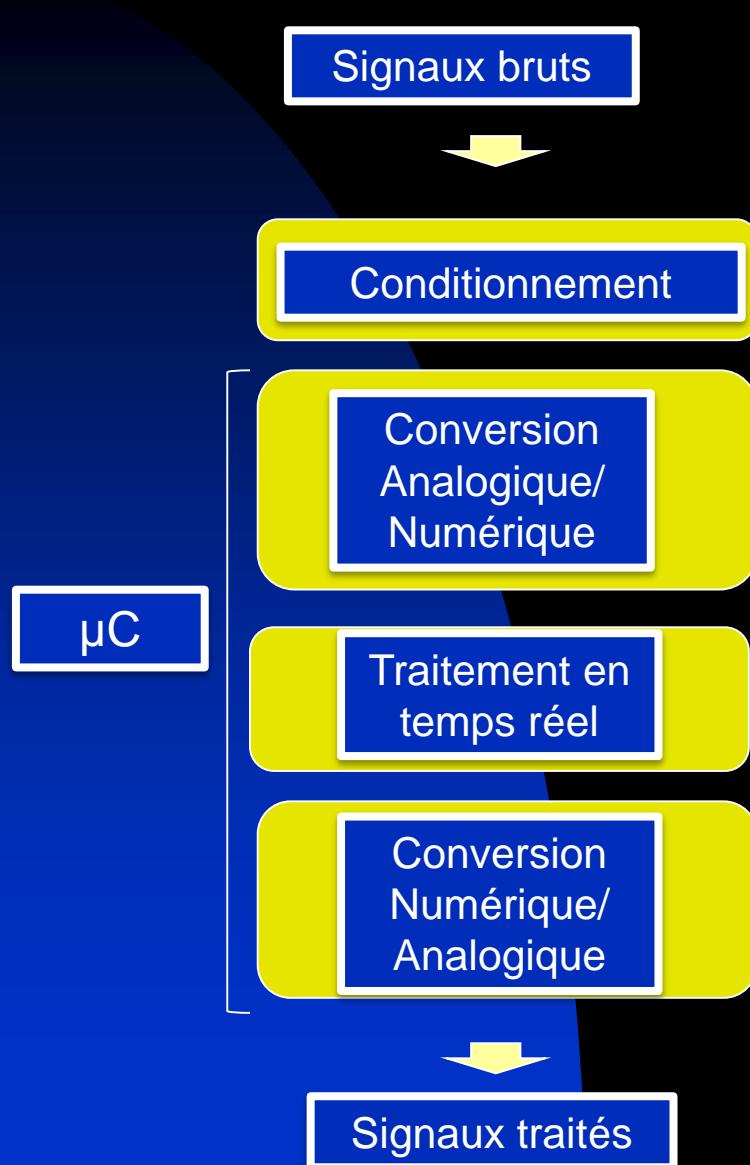
Prototypage - Contexte



Caractéristique	
RAM	4 Go
Processeur	Intel Core 2
Horloge	3,2 GHz
Performance	60 000 MIPS
Stockage	Disque dur 160 Go
Système d'exploitation	Windows, Mac OS, Linux
Langage De l'application	Matlab Simulink LabView Java, C++

Implémentation d'algorithmes sur une cible embarquée

Implémentation sur cible temps réel - Contexte



Caractéristique	
RAM	12Ko
Processeur	HCS12
Horloge	24MHz
Performance	8 MIPS
Stockage	E2PROM 4Ko
Système d'exploitation	Aucun ou micro-noyau
Langage De l'application	C, Asm

Implémentation d'algorithmes sur une cible embarquée

Implémentation sur cible temps réel - Ressources

Points à prendre en compte pour réaliser une implémentation sur une cible temps réel

1) Ressources en puissance

- Temps pendant lequel l'ensemble du traitement doit être effectué (par exemple $< T_{\text{échantillonnage}}$)
- Nombre d'itérations du traitement (ex : ordre d'un filtre FIR+1)
- Temps pris par chaque itération
- Type et taille des variables (variables entières 8, 16, 32 bits) préférable à l'utilisation de var en Virgule flottante
- Performances du processeur (MIPS)

Implémentation d'algorithmes sur une cible embarquée

Implémentation sur cible temps réel - Ressources

Points à prendre en compte pour réaliser une implémentation sur une cible temps réel

2) Ressources en mémoire

- DATA Nombre de mesures à stocker * taille des échantillons
- Ex : Filtre ordre 100 : $101 * 2 \text{ octets} \gg 202 \text{ octets}$ stockage en RAM
- Besoin en stockage permanent de DATA (mémoire E2PROM)
- Besoin en mémoire de programme (stockage FLASH)

Implémentation d'algorithmes sur une cible embarquée

Implémentation sur cible temps réel - Ressources

Points à prendre en compte pour réaliser une implémentation sur une cible temps réel

3) Ressources en énergie

- Très souvent critique pour la durée de vie des piles ou batteries sur les équipements embarqués
- Choix du microprocesseur très important
- Peut amener à ne déclencher les traitements lourds que si nécessaires
- Peut amener à mettre le μ C en mode SLEEP
- Rapport fréquence d'horloge / consommations

Implémentation d'algorithmes sur une cible embarquée

Implémentation sur cible temps réel - Ressources

Points à prendre en compte pour réaliser une implémentation sur une cible temps réel

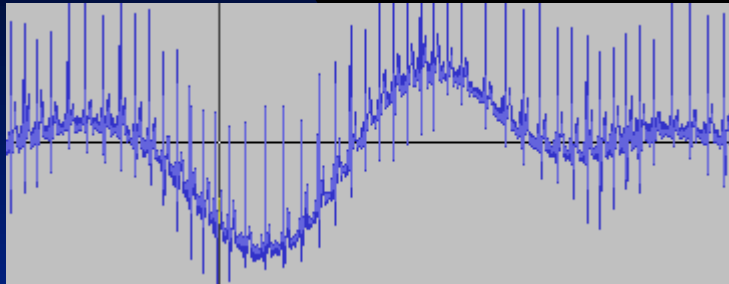
4) Outils de développement

- L'outil de développement est un élément fondamental dans le choix d'une solution embarquée . L'Impact porte sur :
 - Le temps de **développement** et de **débogage** initial,
 - La réactivité lors de modifications,
 - Le suivi du logiciel et des versions, la réutilisation de code,
 - Les langages supportés (Asm, C, C++, extensions temps réel de langage de haut niveau (Matlab/Labview) ...

Implémentation d'algorithmes sur une cible embarquée

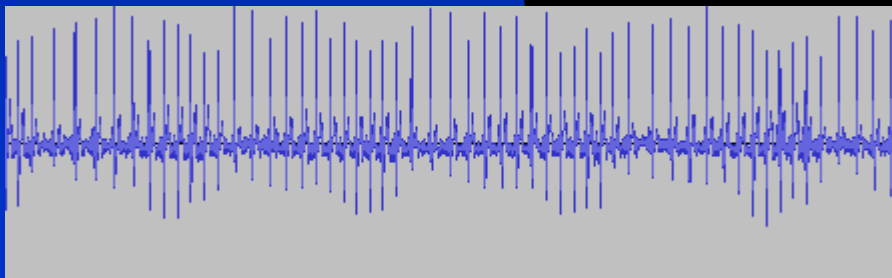
Implémentation sur cible temps réel - Exemple

Filtrage du signal ECG dans le cadre de la mesure du rythme cardiaque instantané. 1) Définition du besoin, prototypage :



Signal brut pré-enregistré (ECG.wav)

Ce signal est inutilisable dans le cas de la détection de l'intervalle R-R par SEUILLAGE. Il faut FILTRER pour obtenir une ligne de base stable. Vous avez prototypé ce traitement dans le BE de TS « traitement de l'ECG ».



Signal filtré par un passe-bas (ECGf.wav)

Implémentation d'algorithmes sur une cible embarquée

Implémentation sur cible temps réel - Exemple

Filtrage du signal ECG dans le cadre de la mesure du rythme cardiaque instantané. 2) Spécifications :

- Signal à traiter ECG Bande utile 1Hz à 20 Hz environ
- Nécessité d'un pré-traitement analogique (séance précédente) pour adaptation de niveau électrique
- Mise en œuvre d'un **filtre passe-haut** Ex: $F_c = 0,9 \text{ Hz}$ ordre 80
- Fréquence d'échantillonnage 128 Hz

Implémentation d'algorithmes sur une cible embarquée

Implémentation sur cible temps réel - Exemple

Filtrage du signal ECG dans le cadre de la mesure du rythme cardiaque instantané. 3) Implémentation en temps réel :

Etude de la faisabilité avec un HCS12 cadencé à 24 MHz

➤ **Besoin en RAM :**

- Taille des échantillons : CAN 10 bits > 16 bits
- 81 échantillons+81 coeffs $162 \times 2 = 324$ octets
- Taille largement compatible avec la RAM de 12Ko

Implémentation d'algorithmes sur une cible embarquée

Implémentation sur cible temps réel - Exemple

Filtrage du signal ECG dans le cadre de la mesure du rythme cardiaque instantané. 3) Implémentation en temps réel :

Etude de la faisabilité avec un HCS12 cadencé à 24 MHz

- **Besoin en traitement :**
 - L'implémentation de la convolution nécessite :
 - 81 multiplications 16 bits (échantillon) * 16 bits (coefficient)
 - 81 additions sur un accumulateur 32 bits.
 - Le HCS12 possède une unité dédiée (EMACS)

Implémentation d'algorithmes sur une cible embarquée

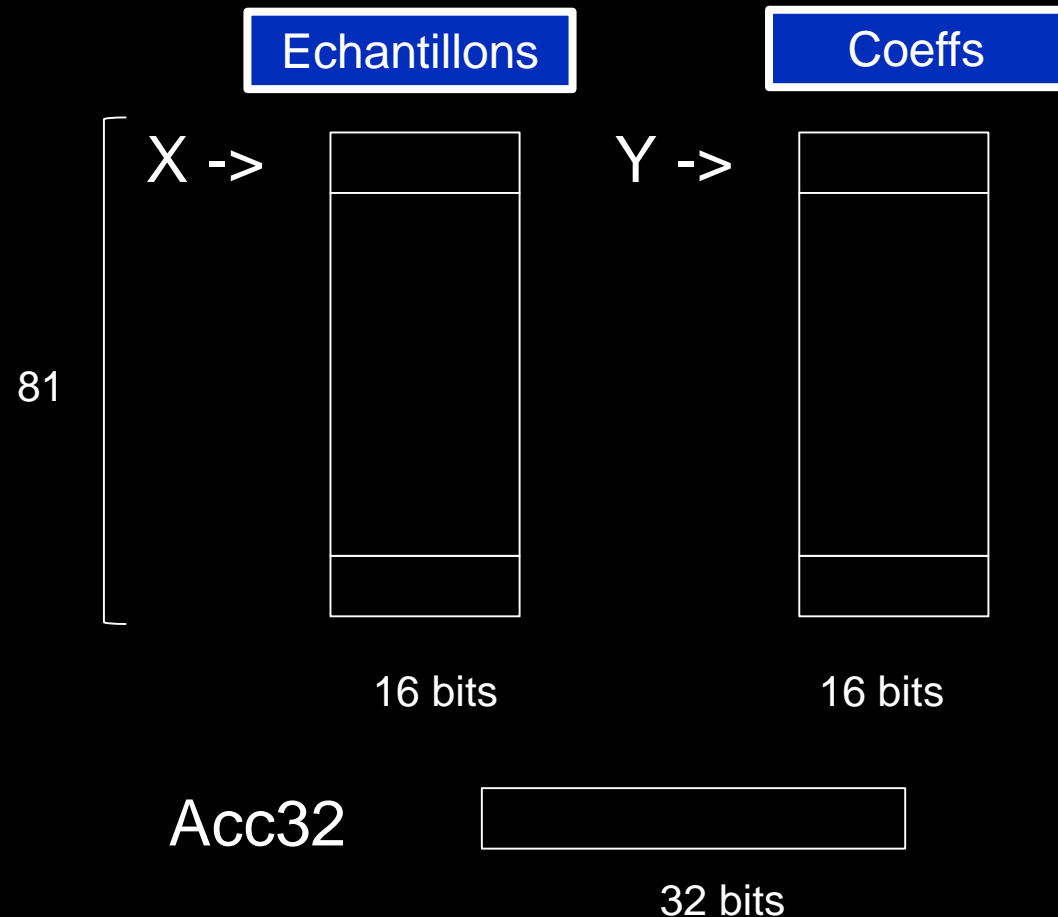
Implémentation sur cible temps réel - Exemple

Filtrage du signal ECG dans le cadre de la mesure du rythme cardiaque instantané. 3) Implémentation en temps réel :

Instruction EMACS

Multiply and Accumulate

*The multiply and accumulate (EMACS) instruction multiplies two 16-bit operands stored in memory and accumulates the 32-bit result in a third memory location. EMACS can be used to implement **simple digital filters**.*



Implémentation d'algorithmes sur une cible embarquée

Implémentation sur cible temps réel - Exemple

Filtrage du signal ECG dans le cadre de la mesure du rythme cardiaque instantané. 3) Implémentation en temps réel :

```
71:      21E8 CE 1044          [02]      LDX #TAMPON
72:      21EB CD 2213          [02]      LDY #COEFFS
73:      21EE 1812 112A        [0D] FILT1  emacs   acc32
74:      21F2 08                [01]      INX
75:      21F3 08                [01]      INX
76:      21F4 02                [01]      INY
77:      21F5 02                [01]      INY
78:      21F6 8E 10E4          [02]      CPX      #TAMPON+162-2
79:      21F9 26 F3            [03]      BNE      FILT1
```

Estimation 22 cycles à 24 MHz répétés 81 fois : 74,25 μ s

Les 81 itérations sont très inférieures en durée à 1/128 sec.

Implémentation d'algorithmes sur une cible embarquée

Implémentation sur cible temps réel - Exemple

Filtrage du signal ECG dans le cadre de la mesure du rythme cardiaque instantané. 3) Implémentation en temps réel :

Type de variables

Les coefficients calculés en BE sous Matlab sont des réels . Ils ne sont pas directement utilisable par l'instruction EMACS qui attend des entiers 16 bits. Il faut les transformer : multiplication par 1000 et arrondi ...

Filtre_1HZ.doc					
-0,0077	-0,008	-0,0083	-0,0085	-0,0088	-0,0091
-7,7	-8	-8,3	-8,5	-8,8	-9,1
-8	-8	-8	-9	-9	-9

.....

... Pour obtenir un tableau d'entiers de 16 bits signés.

COEFFS DC.W -8, -8, -8, -9, -9, -9,

Implémentation d'algorithmes sur une cible embarquée

Implémentation sur cible temps réel - Exemple

Filtrage du signal ECG dans le cadre de la mesure du rythme cardiaque instantané. 3) Implémentation en temps réel :

Architecture retenue :

Le traitement sera réalisé par le processeur HCS12, l'acquisition du signal sera effectuée par le convertisseur ADC intégré 10 bits, la restitution du signal filtré sera effectuée par un DAC extérieur interfacé par le bus SPI.

