

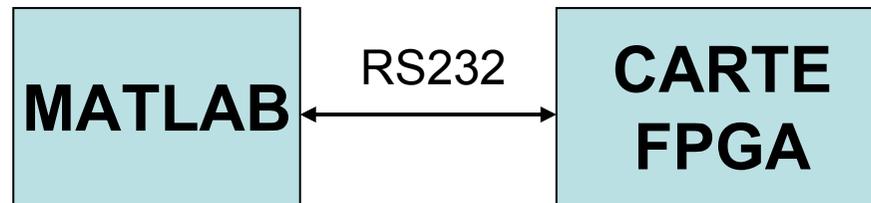
Programmation d'un FPGA Spartan-3 XC3S400

Applications à l'analyse temps-
réel de signaux physiologiques
(SpO2, ECG, NAF, EEG)

Communication avec la carte

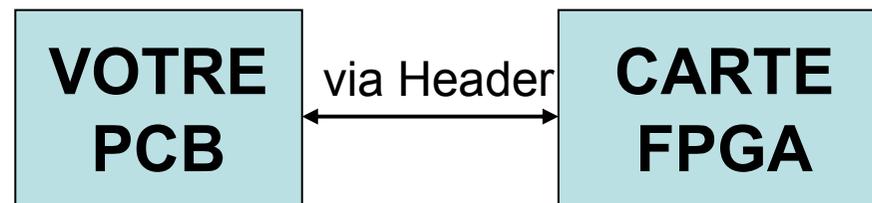
PC ↔ carte FPGA ↔ autres cartes

Communication PC ↔ carte FPGA



- Réception des données (int16) par RS232
- Décodage des bytes

ET/OU



Protocole RS232 et UART

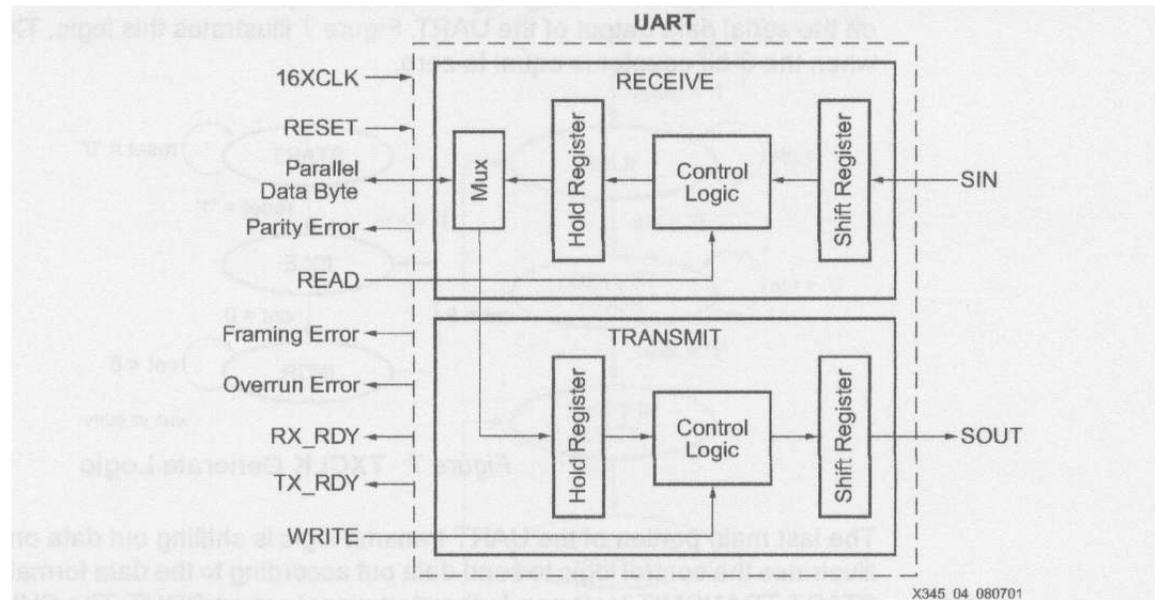


Figure 4: UART Main Interface Logic

The serial data out, SOUT follows the format shown in Figure 5.

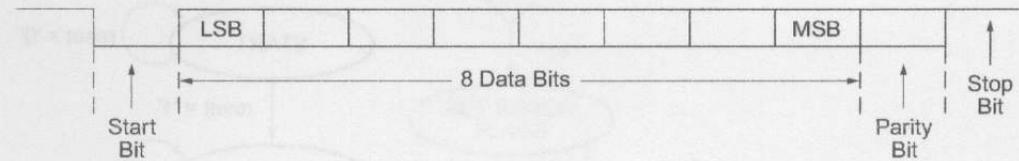


Figure 5: UART Data Out Format

Cycle de lecture et d'écriture

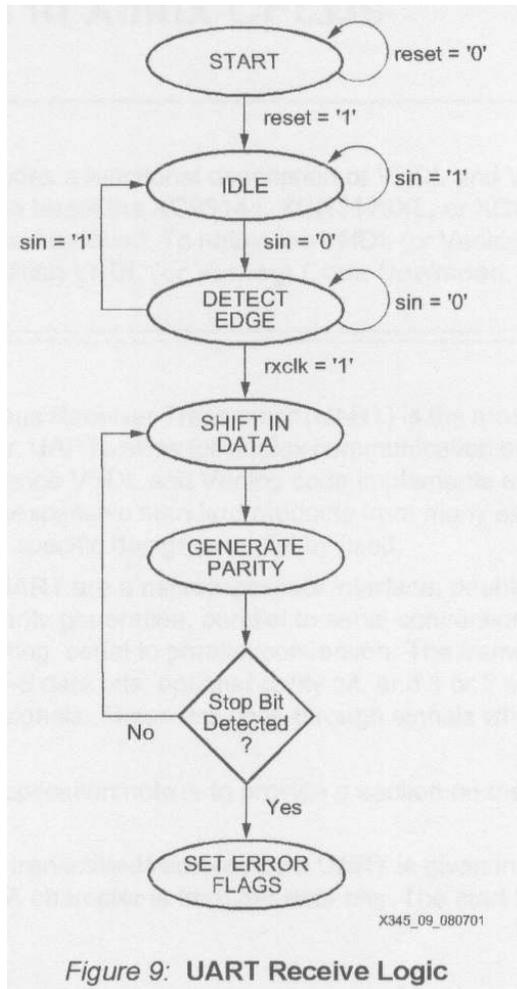


Figure 9: UART Receive Logic

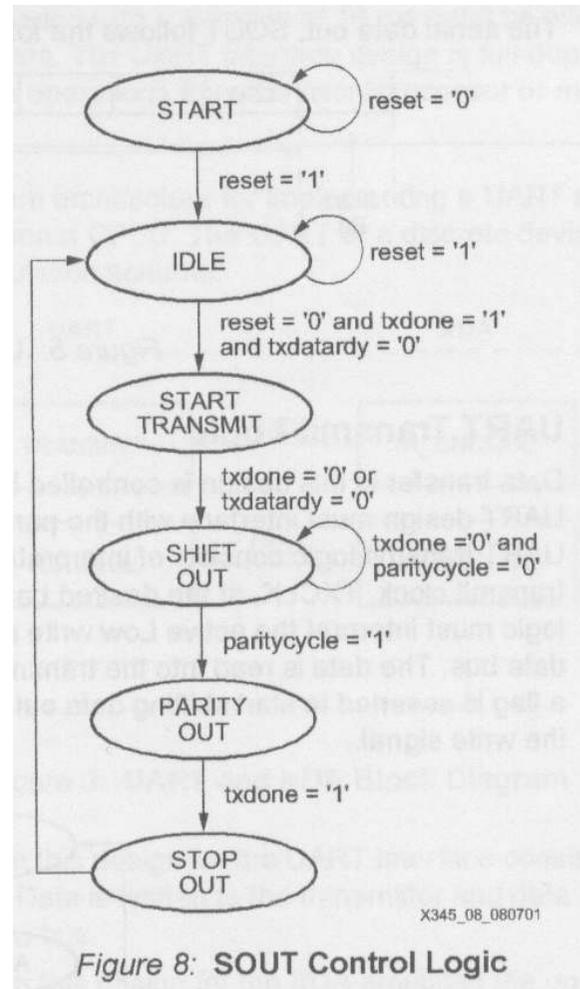
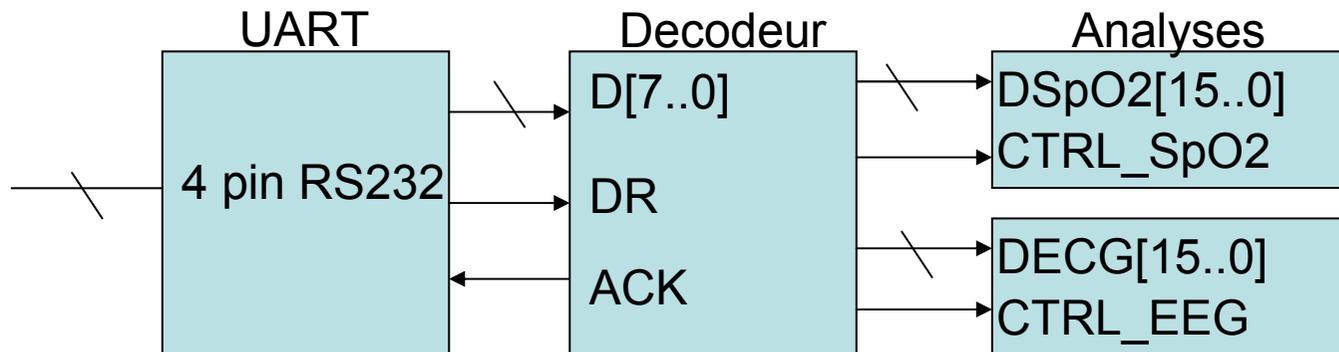


Figure 8: SOUT Control Logic

En pratique

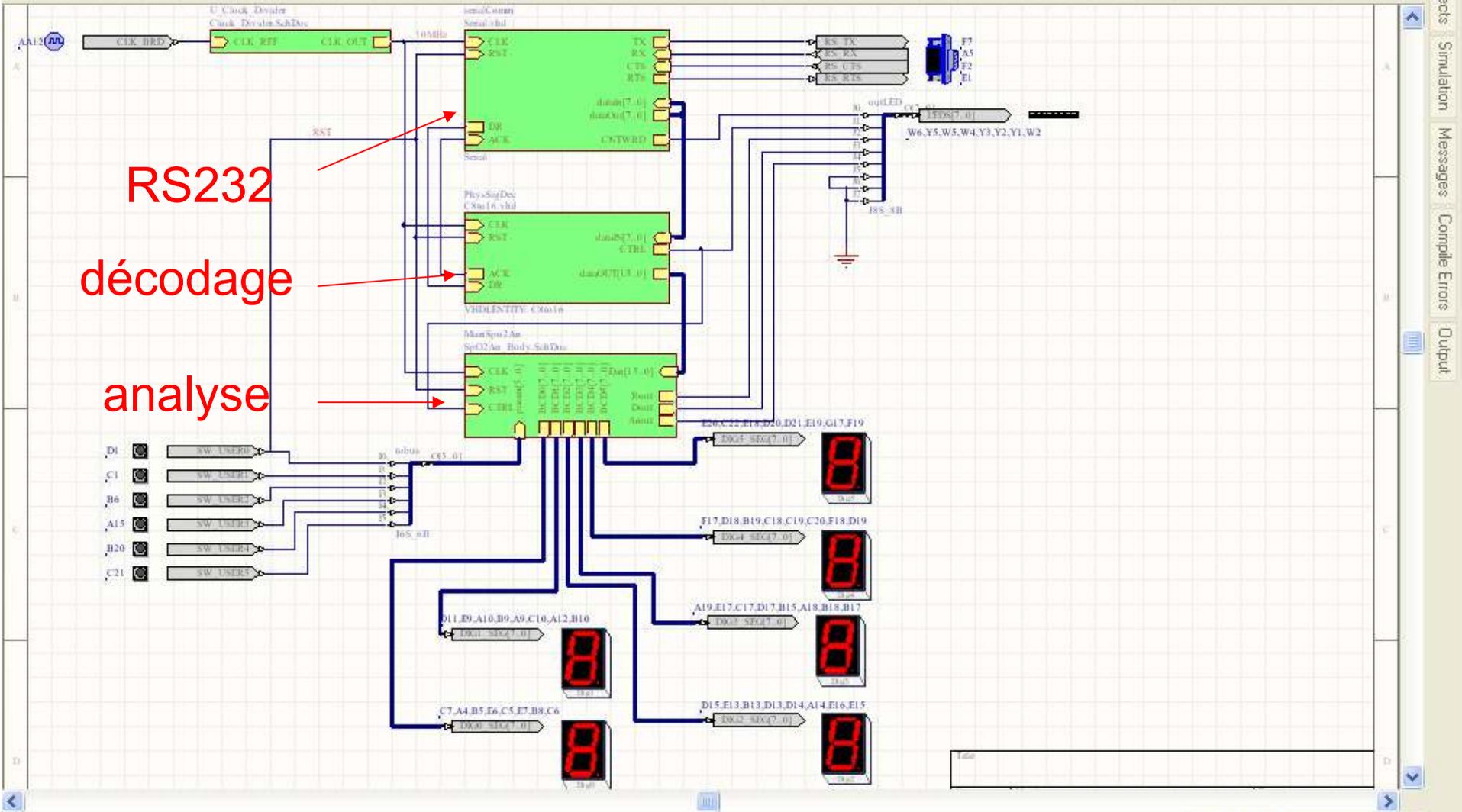
- Implémenter *au moins* la réception
- Chaque échantillon est un *int16* (=2 bytes)
- Il est précédé d'un header *ID* (=1 byte)



DR = réception d'un paquet par l'UART – '1' lorsque paquet OK, → '0' si ACK = '1', '0' sinon

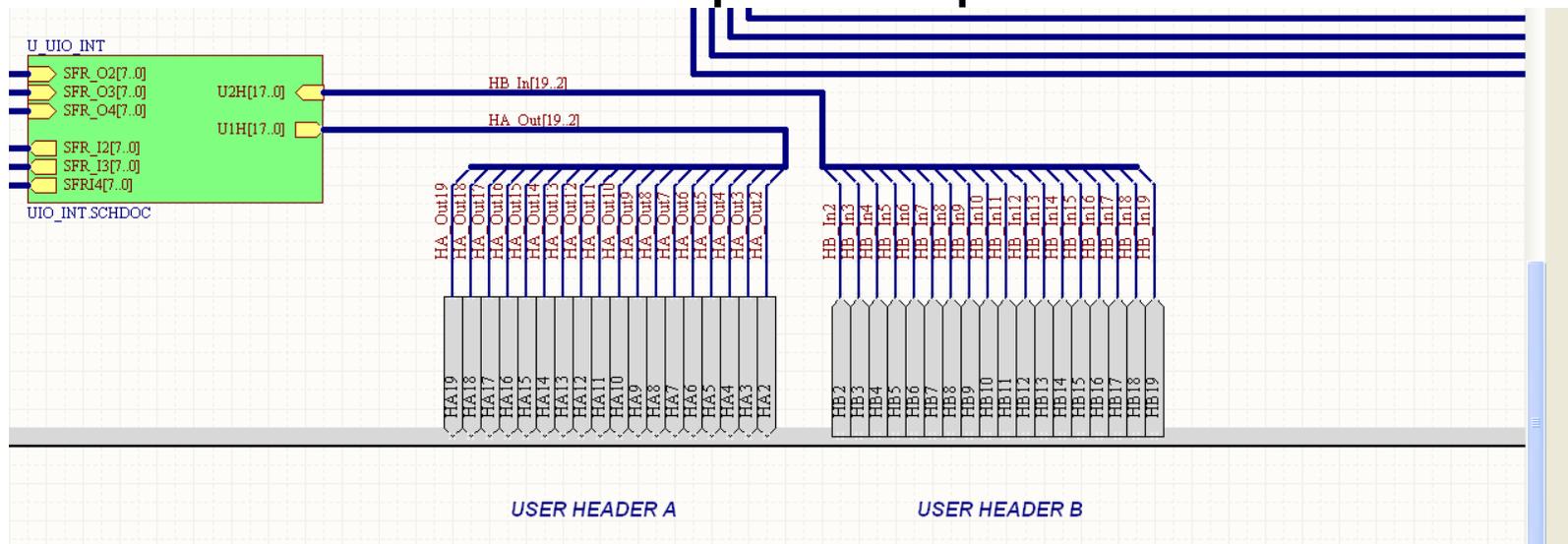
ACK = réception d'un paquet par le decodeur – '1' lorsque paquet OK, → '0' si DR = '0', '0' sinon

CTRL_XX = réception d'un échantillon – '1' pendant un cycle d'horloge, '0' sinon



Communication carte FPGA ↔ autres cartes

- Utilisation des header : voir projet exemple « EvalBoardTester » pour copier-coller

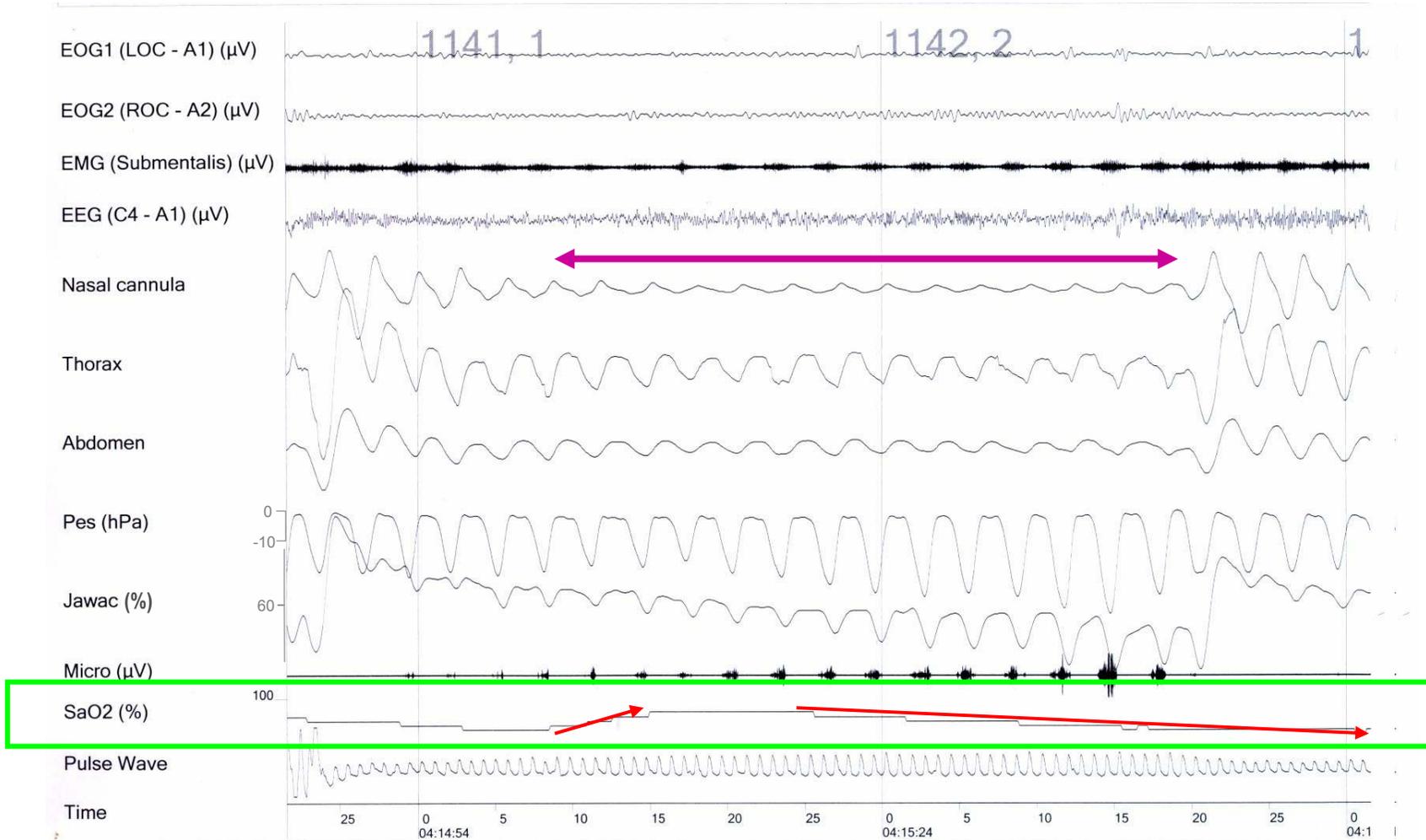


- Programmer le FPGA pour dialoguer avec des composants type PIC ou convertisseurs AD

Analyse de la saturation pulsatile en oxygène, SpO₂, par FPGA

Détection des désaturations et
resaturations

La saturation pulsatile en oxygène (SpO2) varie en présence d'apnées



Matériels et Méthodes

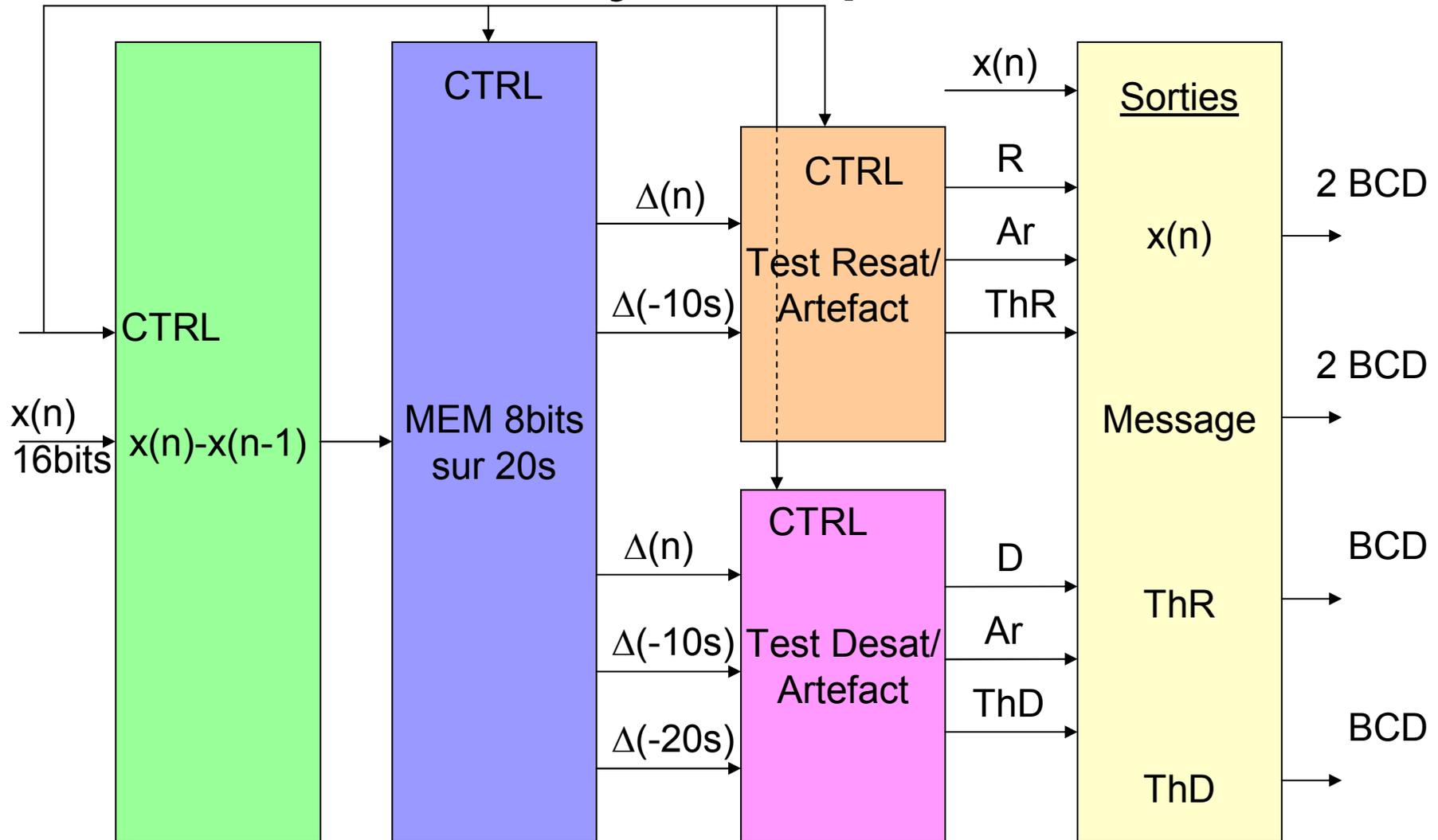
Analyse SpO2

- Analyse SpO2
 - Calcul et mémorisation de $\Delta=x(n)-x(n-1)$
 - Resaturation à ThR % / Artefact
 - Désaturation à ThD % / Artefact
 - Affichage des résultats

En pratique...

- **Resaturation** : $\uparrow > \text{ThR} \%$ mais $< \text{ThAr} \%$
en moins de 10s
 \Rightarrow calcul de $\Delta = x(n) - x(n-1)$ (8 bits) (*)
 \Rightarrow test Δ_{cum} ($= \sum \Delta = \int$) sur 10s (*)
- **Désaturation** : $|\downarrow| > \text{ThD} \%$ mais $< \text{ThAr} \%$
en moins de 20s
 \Rightarrow test Δ_{cum} sur 10s et Δ_{cum} sur 20s (*)
- **Artefact** : \uparrow ou $|\downarrow| > \text{ThAr} \%$.
- **ThR** et **|ThD|** sont paramétrables [2-5] %

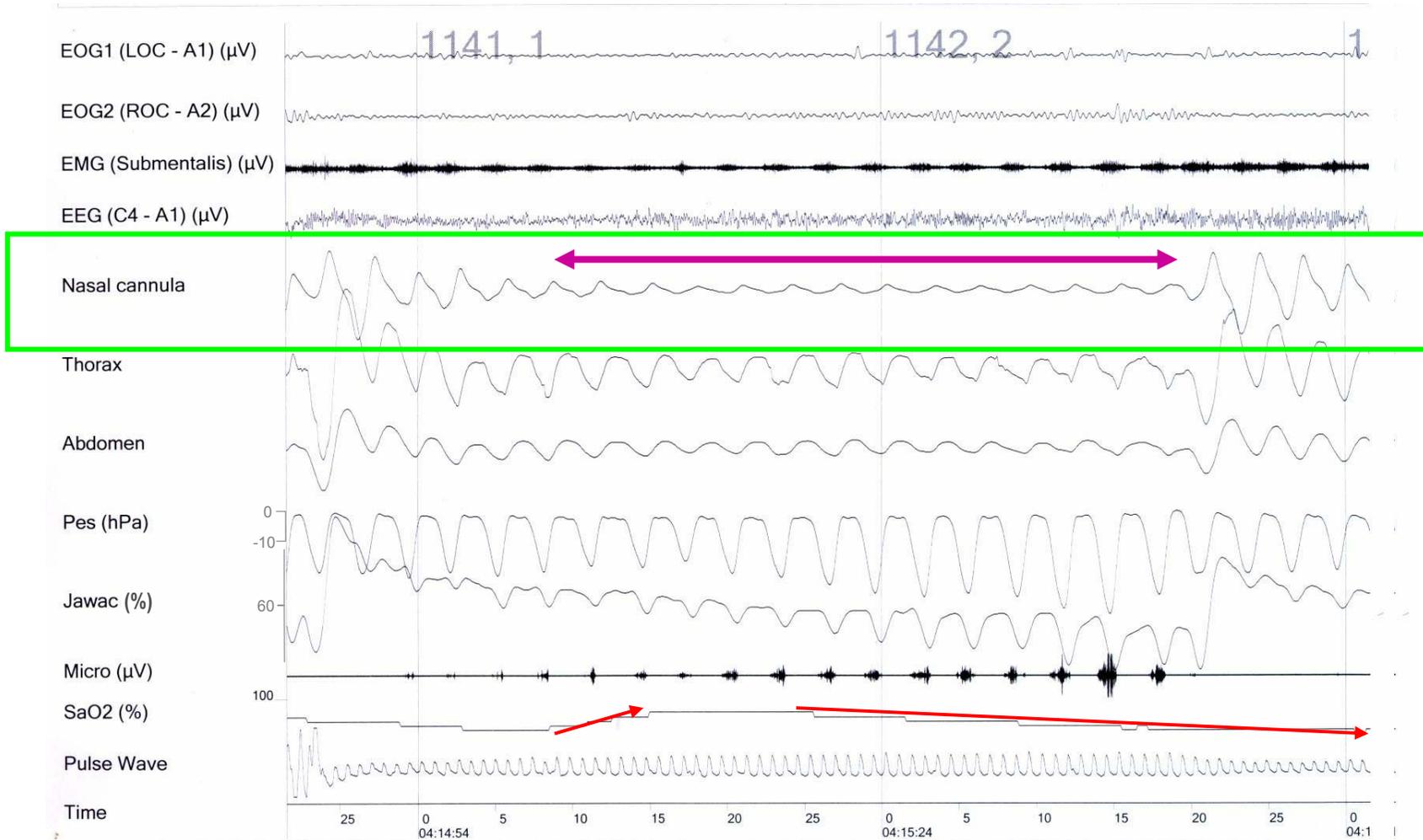
Analyse SpO2



Analyse du flux nasal

Détection des apnées et
hypopnées du sommeil

Le flux nasal décroît (resp. est nul) lors d'hypopnées (resp. d'apnées)



Matériels et Méthodes

Analyse Nasal Flow (NAF)

- Analyse NAF
 - Calcul et mémorisation de l'amplitude Δ_{pp} instantanée et de la référence = $\max(\Delta_{pp})$ sur 60s
 - Hypopnée si chute = $(\Delta_{pp} / \max(\Delta_{pp})) \in [0.2-0.7]$ sur 10s et associée à une desat
 - Apnée si $(\Delta_{pp} / \max(\Delta_{pp})) \in [0-0.2[$ sur 10s
 - Artefact de ventilation ?!
 - Affichage des résultats

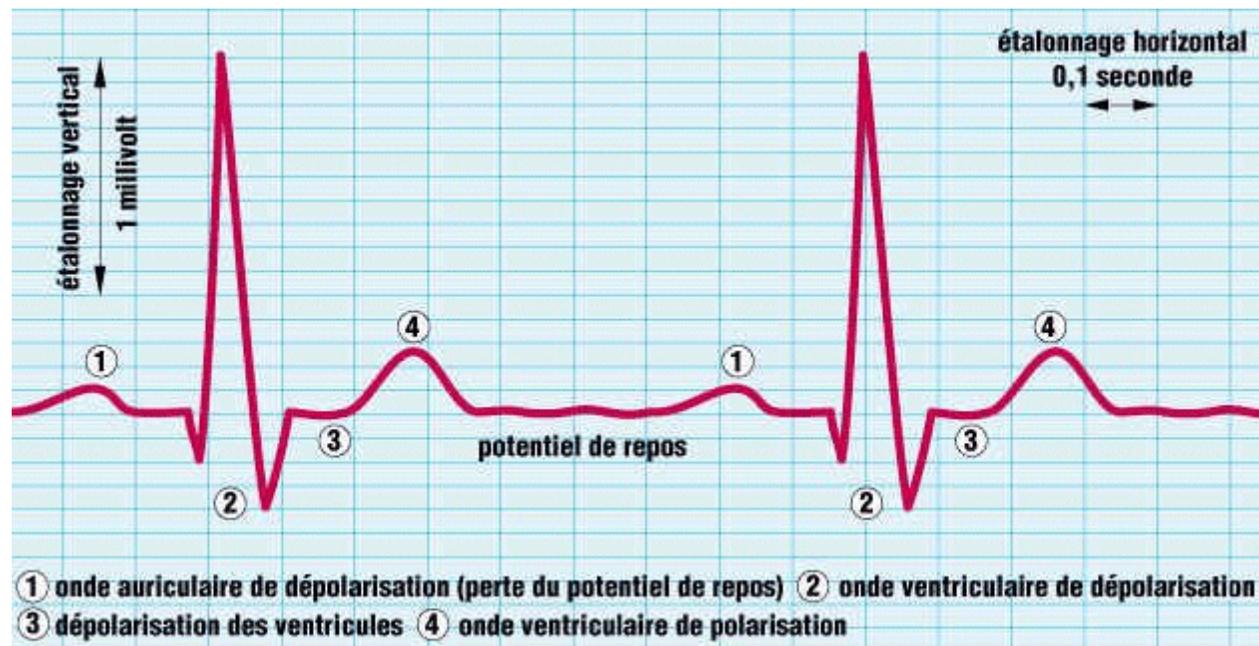
Mesure et Analyse de l'électrocardiogramme, ECG

Etage d'instrumentation

Détection de l'onde R, calcul du
nombre de battements par
minutes (bpm)

L'électrocardiogramme - ECG

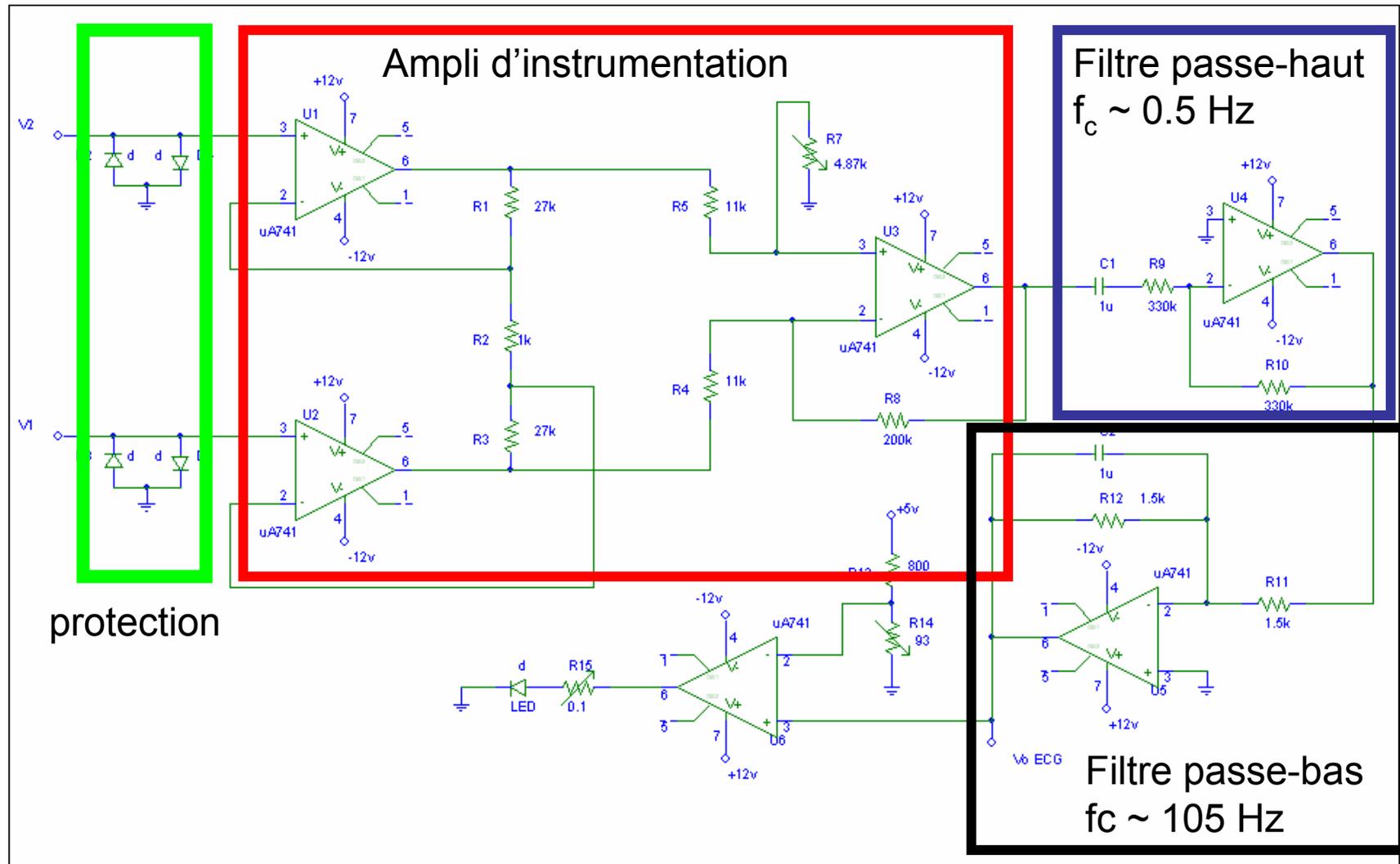
- **ECG** = ElectroCardioGramme, activité cardiaque mesurée par électrodes
- Rythme cardiaque normal [60-80] bpm



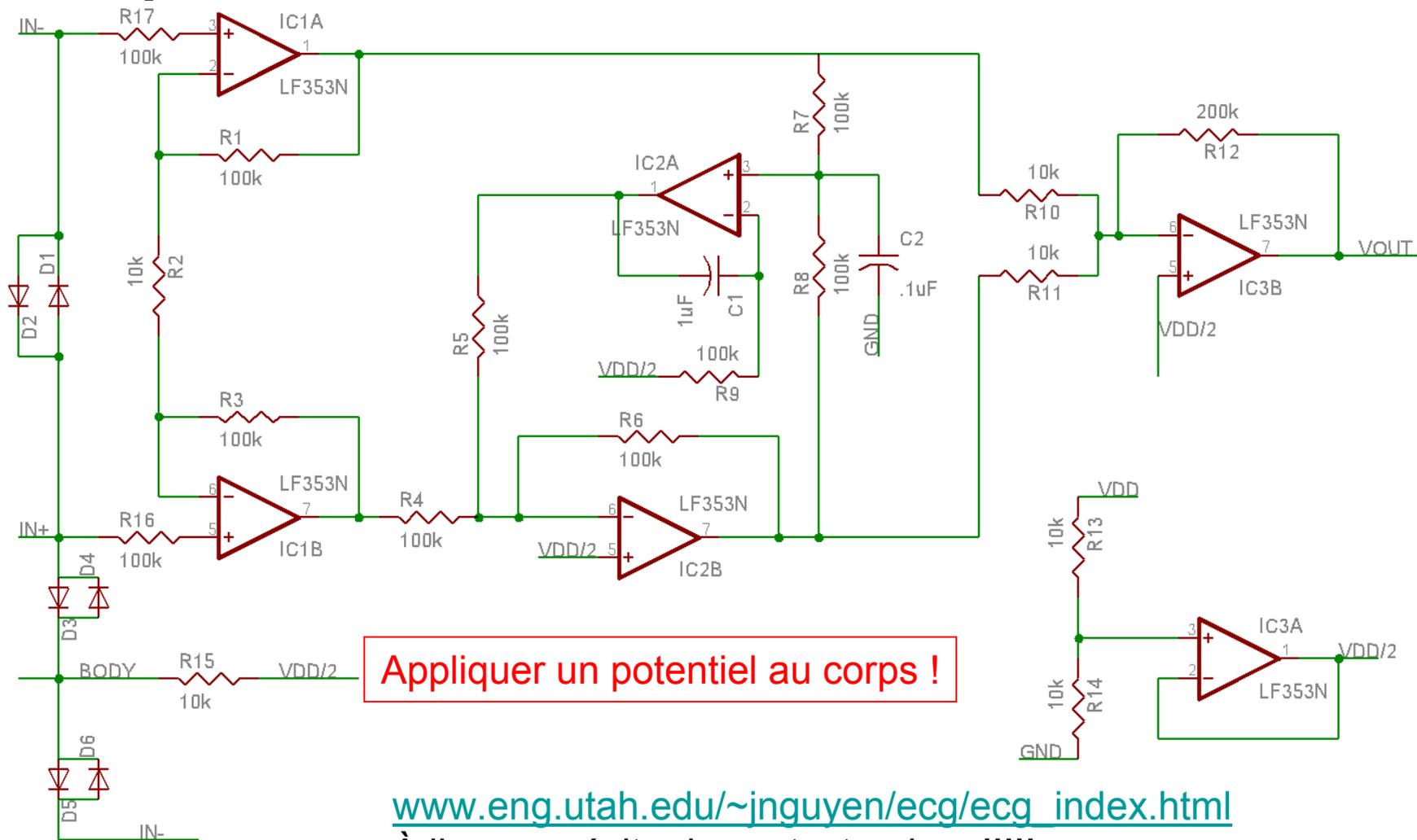
Acquisition de l'ECG sur FPGA

- **Acquisition** : créer sa propre carte
 - Amplificateur d'instrumentation (sugg : INA128),
 - Filtrages passe-bas (anti-aliasing)
 - Conversion analogique → numérique
 - ☠ Mode commun : CMMR >>
 - ☠ Masse commune : pile
 - ☠ Protections « patient » : diodes, R, pile
- Greffer la carte sur les **header disponibles**

Acquisition de l'ECG – schéma 1

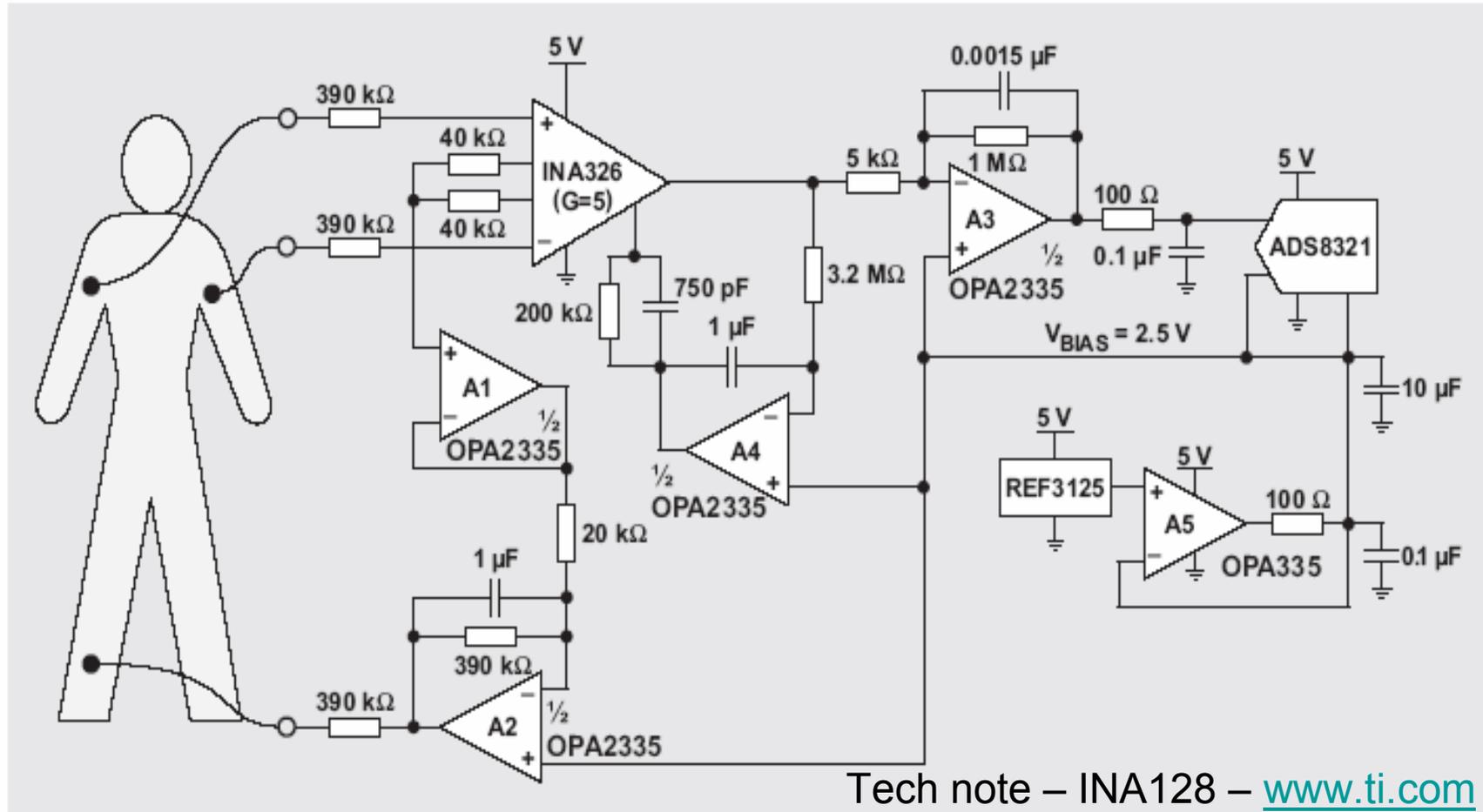


Acquisition de l'ECG – schéma 2

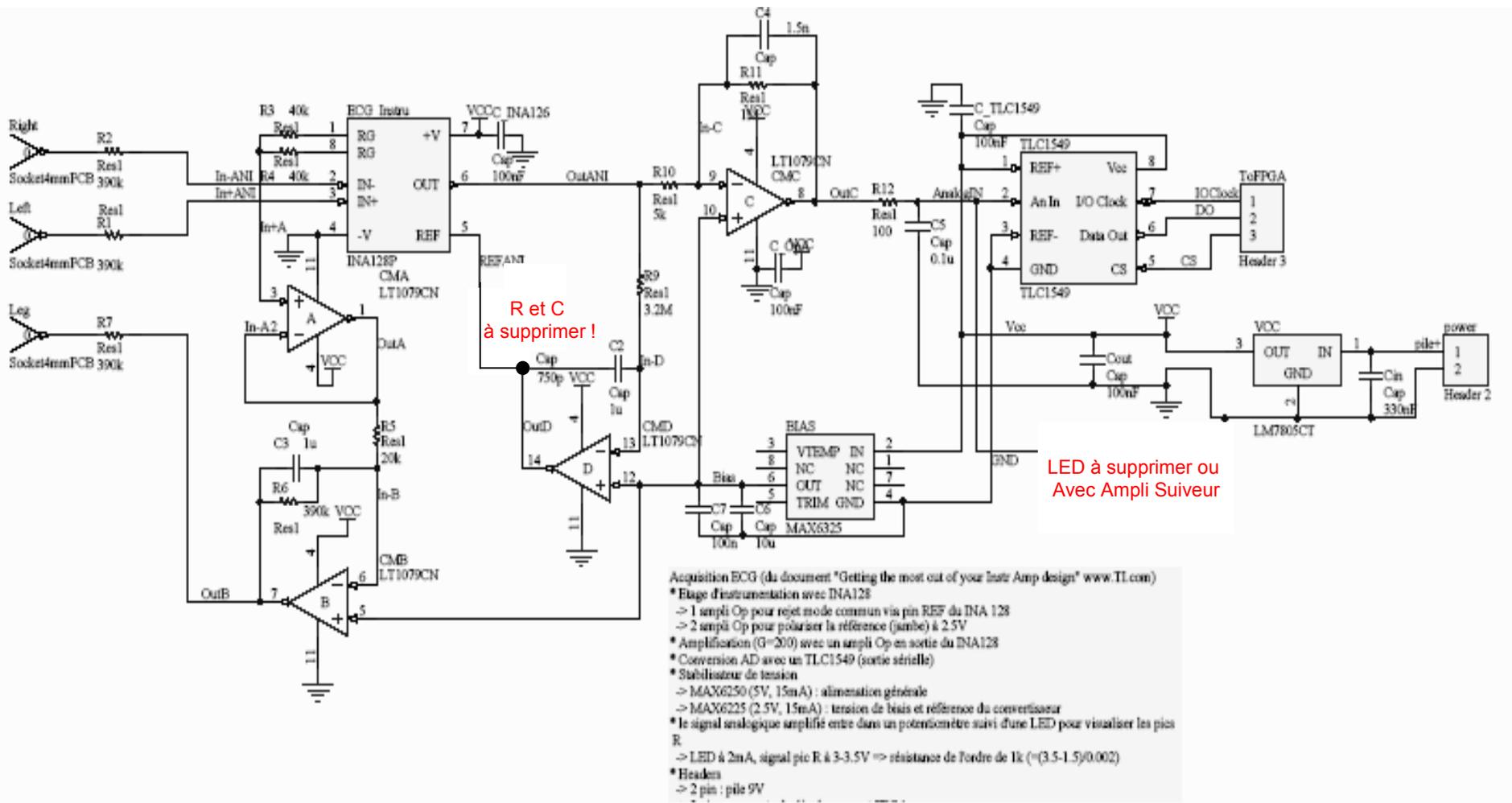


www.eng.utah.edu/~jnguyen/ecg/ecg_index.html
À lire pour éviter les catastrophes !!!!!

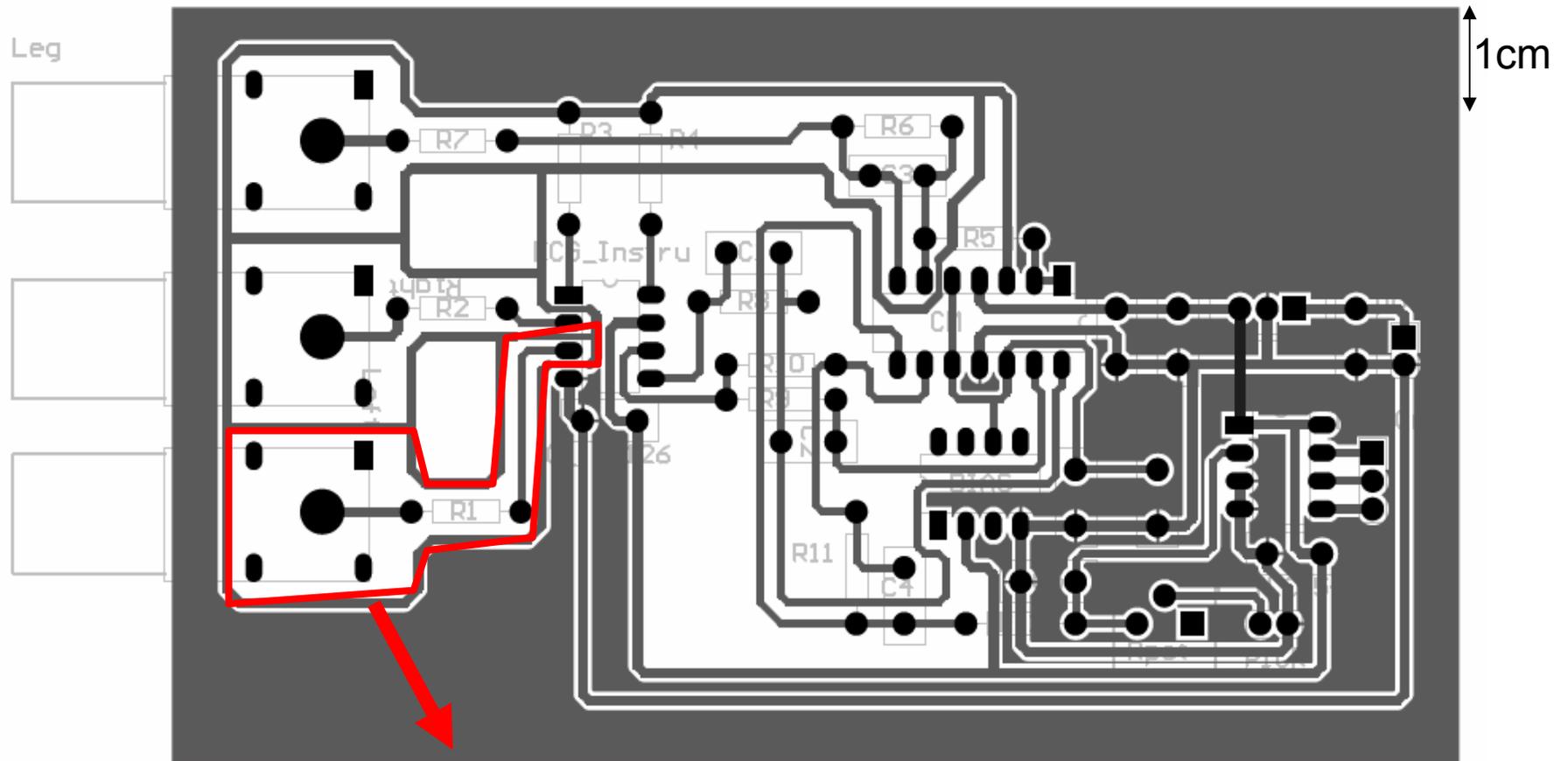
Acquisition de l'ECG – schéma 3



Réalisation - Schematics



Réalisation - PCB



Anneau de garde sur chaque entrée de l'ampli d'instrumentation
Potentiel fixé au mode commun

Matériels et Méthodes

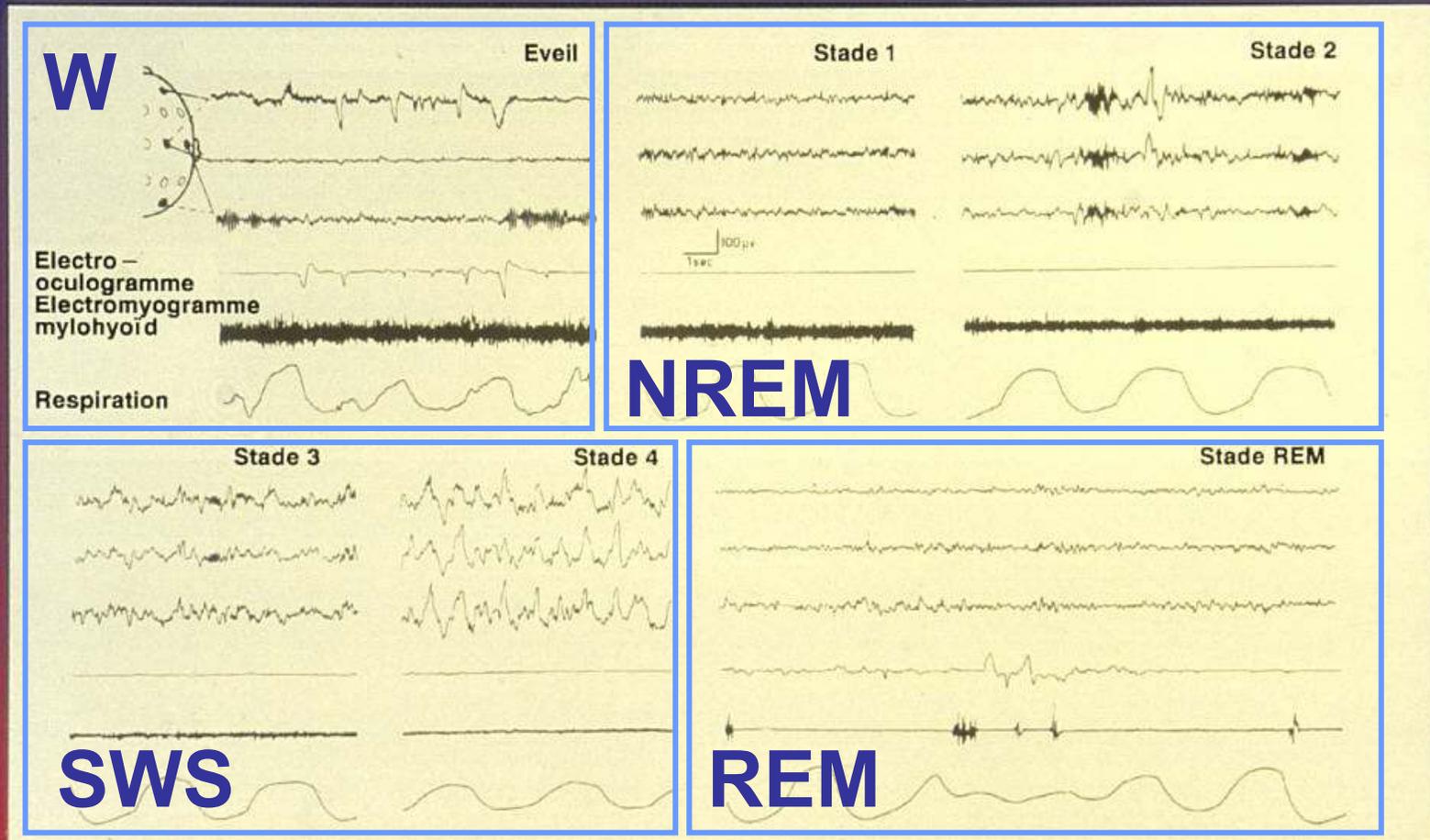
Analyse de l'ECG

- [Contrôle du convertisseur AD]
- Evaluer la nombre de battements par minute (bpm)
 - Détecter et compatibilier pic R
- Bradychardie, Tachycardie
 - Définir $RR(i) = \text{Instant_R}(i) - \text{Instant_R}(i-1)$
 - Si $RR(.) \uparrow$ (ou bpm \downarrow) de trop \rightarrow bradycardie
 - Si $RR(.) \downarrow$ (ou bpm \uparrow) de trop \rightarrow tachycardie

Analyse de l'électroencéphalogramme, EEG, et -myogramme, EMG, par FPGA

Reconnaissance des stades du
sommeil

Les stades du sommeil (W, NREM, SWS, REM)

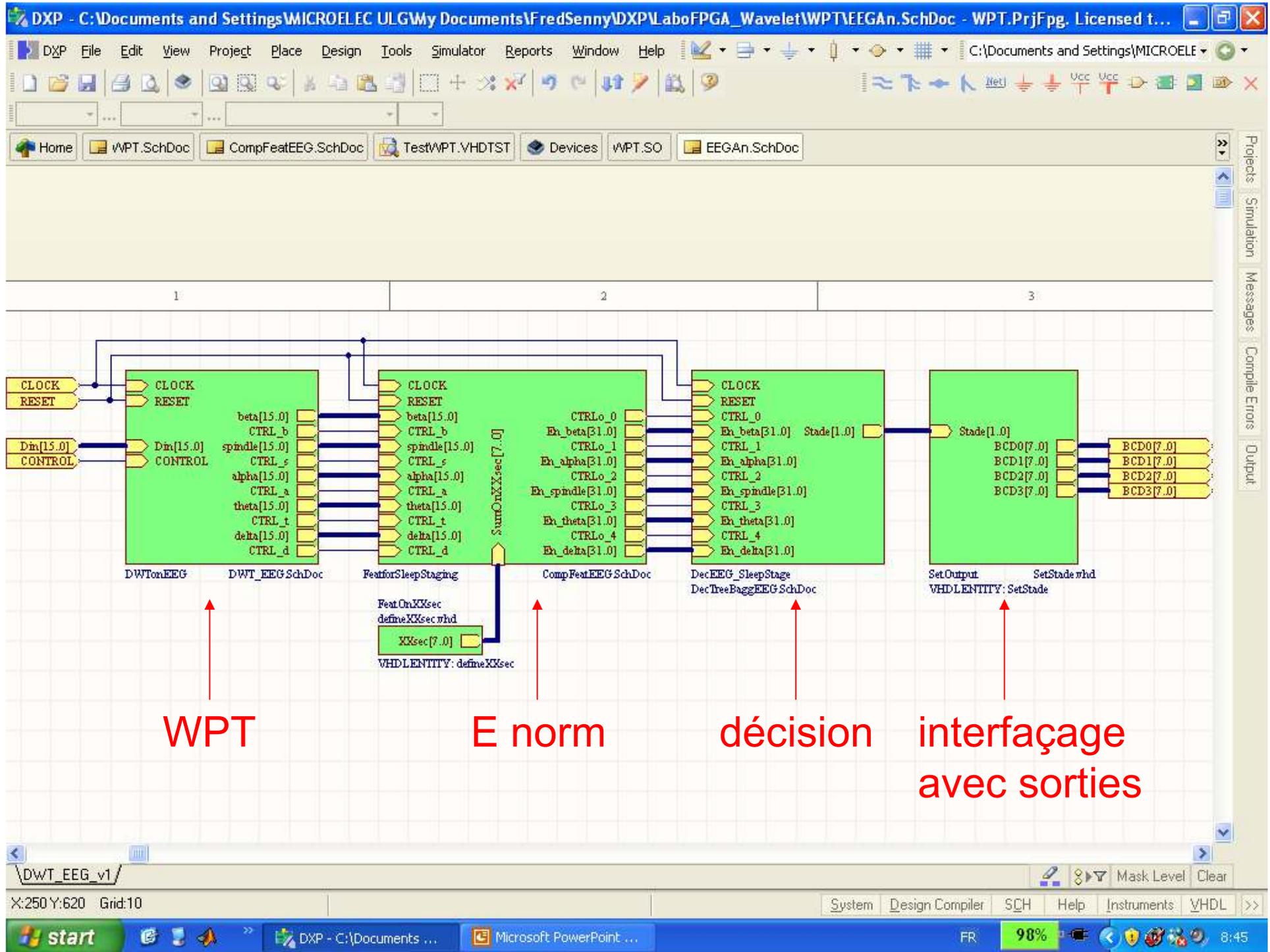


Matériels et Méthodes

Analyse EEG

- Réception des données par RS232
- Décodage des bytes
- Analyse EEG
 - WPT sur 4 niveaux : β , spindle, α , θ , δ .
 - Normalisation des énergies $E_i = \sum |wc_{ij}|^2$
 - Arbre(s) de décision \Rightarrow stade du sommeil

Remarque : nécessite au moins deux canaux EEG, un EMG et un EOG



\DWT_EEG_v1/

X:250 Y:620 Grid:10

System Design Compiler SCH Help Instruments VHDL >>

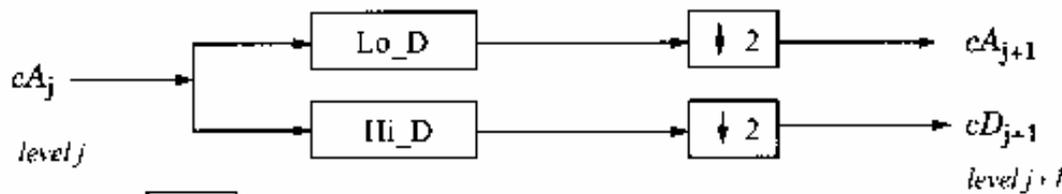
La décomposition en paquets d'ondelettes (WPT)

La décomposition en ondelettes rapide (FWT)

- **Principe** : 2 filtres FIR en quadrature

$$\text{Filtrage FIR : } y[n] = \sum_k x[n-k].h[k]$$

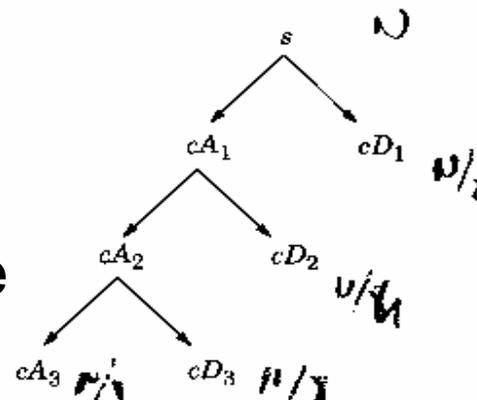
Decomposition Step



where \boxed{X} Convolve with filter X.
 $\boxed{\downarrow 2}$ Downsample.

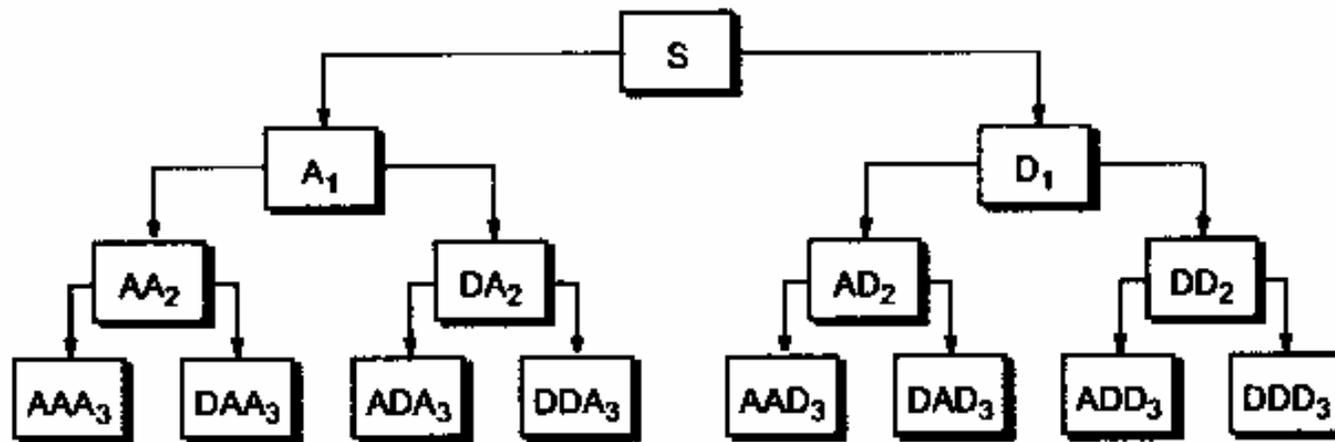
Initialization $cA_0 = s.$

Arbre à 3 niveaux et nombre d'échantillons par niveau



Paquet d'ondelettes (WPT)

- **Principe** : chaque noeud est décomposé de la même manière que FWT !

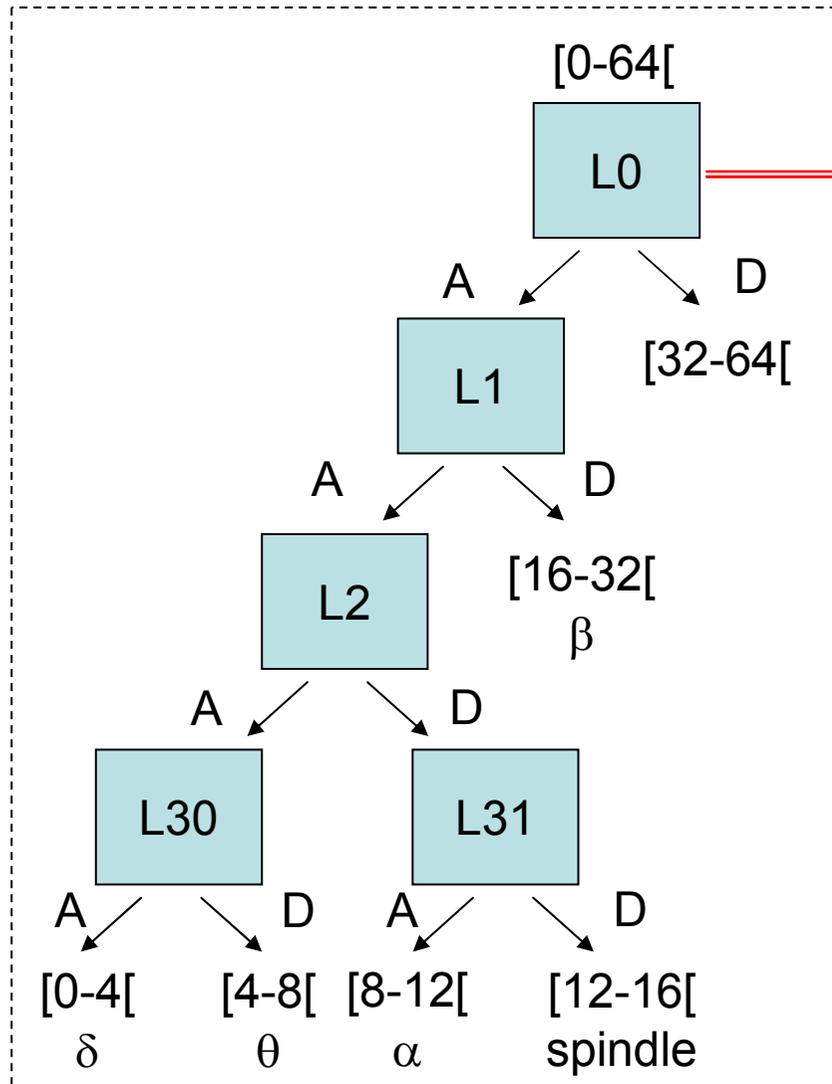


☠ Contenu fréquentiel de chaque noeud ☠

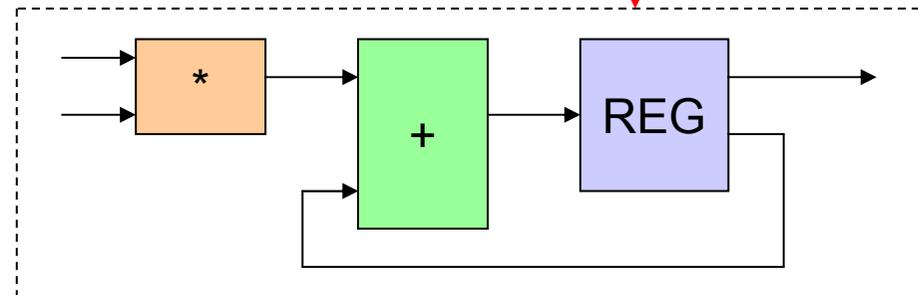
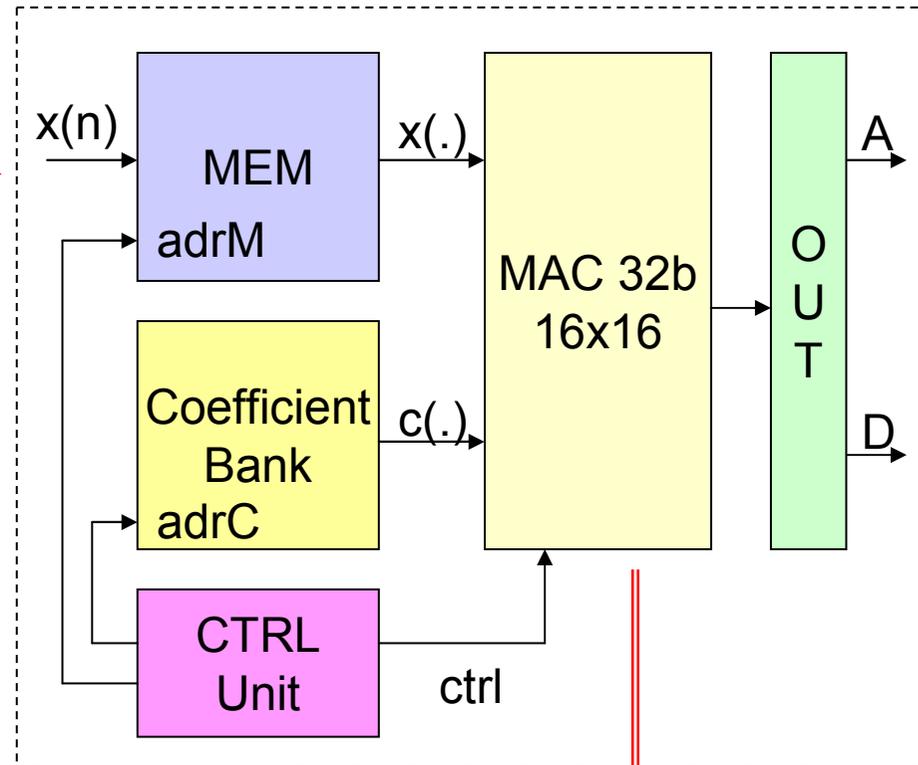
En pratique ...

- Données sur 16 bits (int16) à 128 Hz
- Coefficients sur 11 bits (1 signe +10)
- Ondelettes de Daubechies $N = 4$
 - synthèse par WaveLab
 - 4 niveaux de décomposition pour obtenir les 5 bandes (β , spindle, α , θ , δ)
 - spindle, α , θ , δ à 8Hz et β à 32 Hz
- Une cellule MAC 32b pour les deux filtres
- Sortie sur 16 bits

La WPT

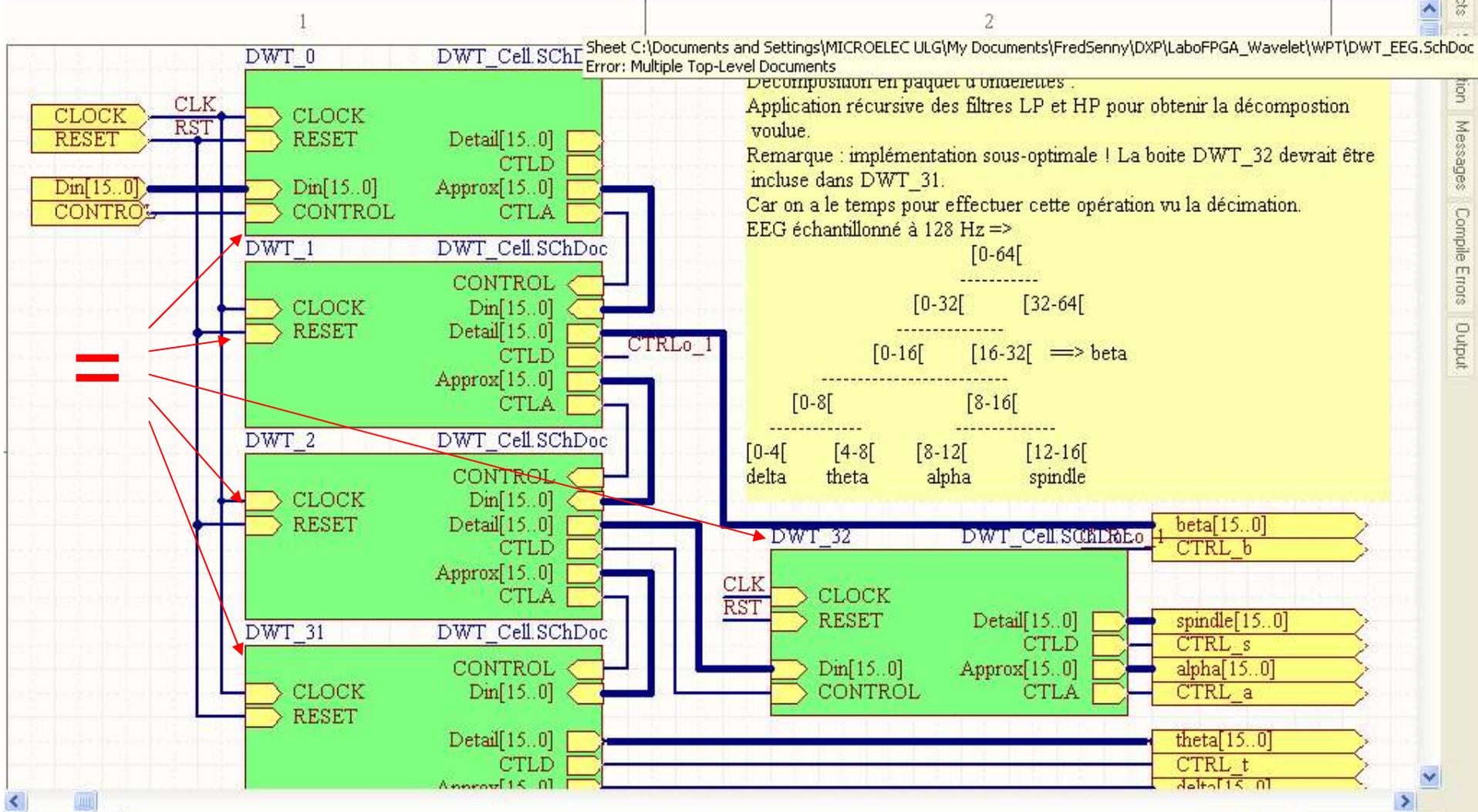


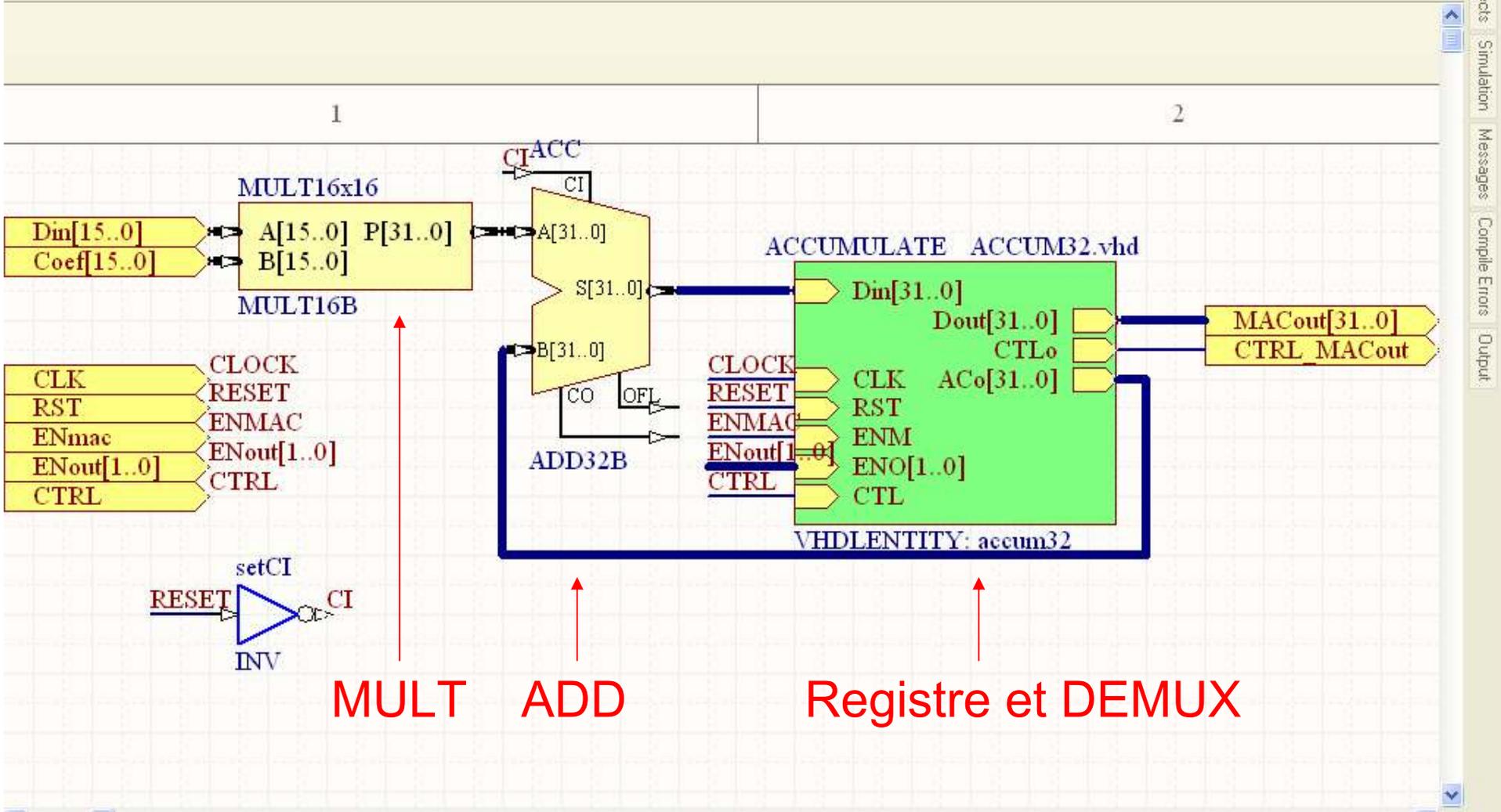
Répétition ELEN037



Applications sur FPGA

34





MULT

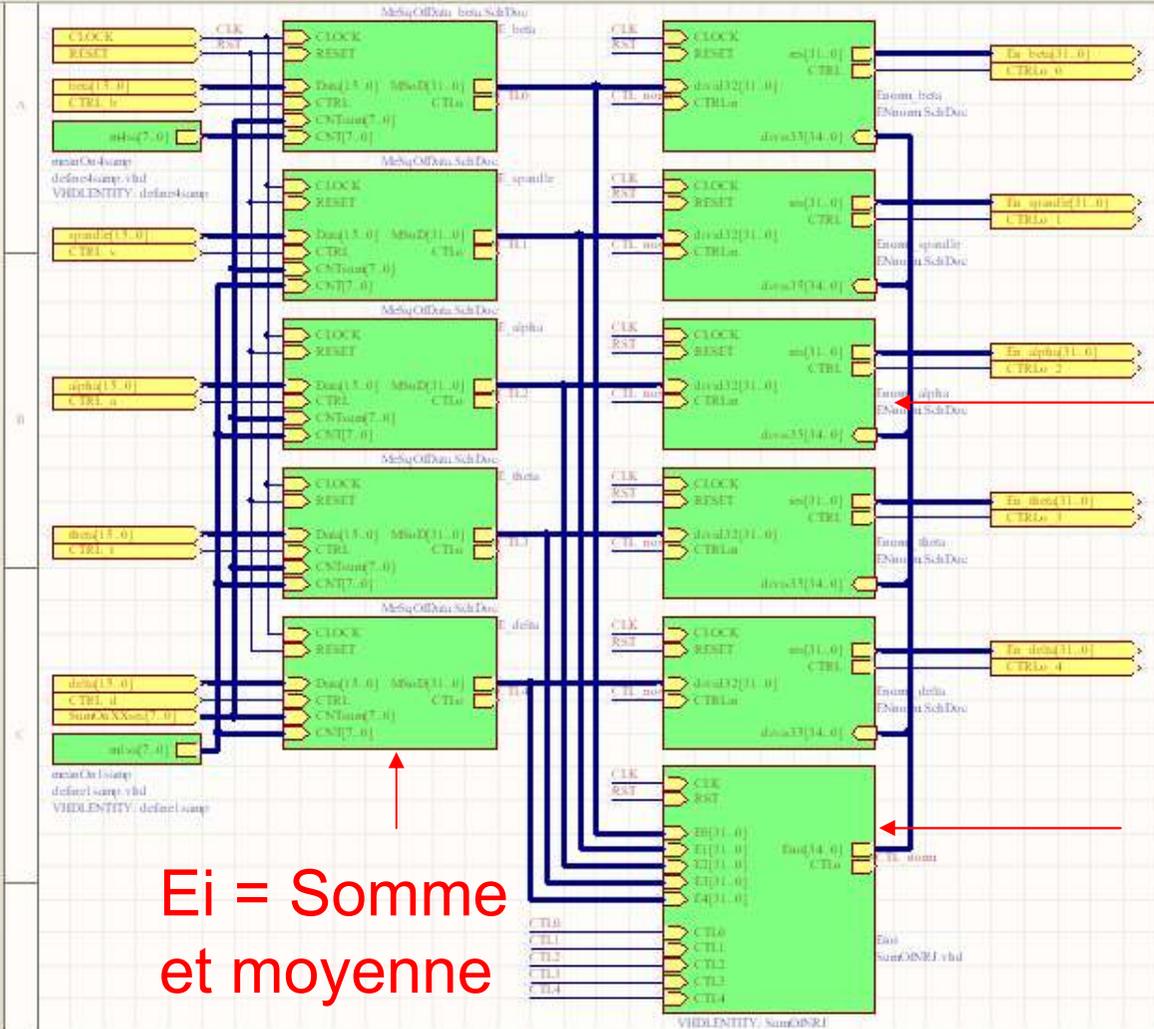
ADD

Registre et DEMUX

La normalisation de l'énergie

En pratique...

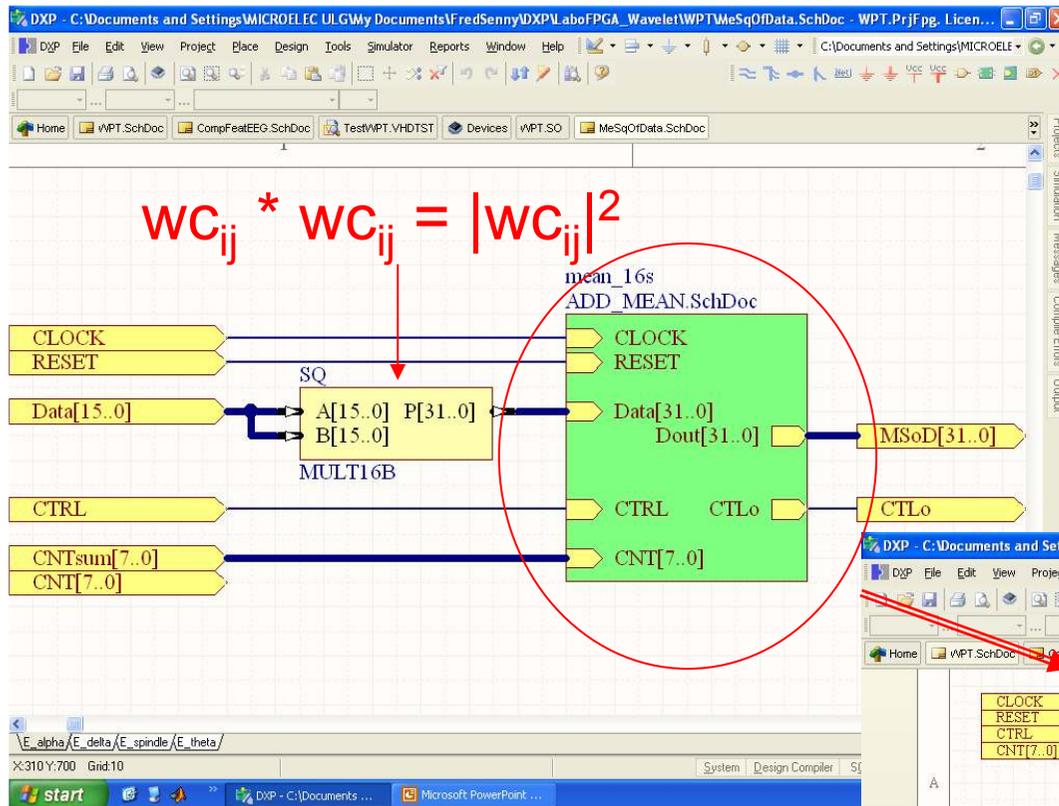
- Prise de **décision** toutes les **16s** basée sur les énergies normalisées des 5 bandes
- $E_i = \sum_j (w_{c_{ij}} * w_{c_{ij}}) / N$, sur 32 bits
 - $N_{s,\alpha,\theta,\delta} = 16*8$, $N_\beta = 16*32$
- $E_{tot} = \sum E_i$, sur 35 bits (pas d'overflow ! *)
- $E_{ni} = E_i * 2^{10} / E_{tot}$, ☠ E_i 64b, E_{tot} 32b
⇒ précision de 10 bits sur le résultat de la division (implémentation série, ~~div~~) (*)



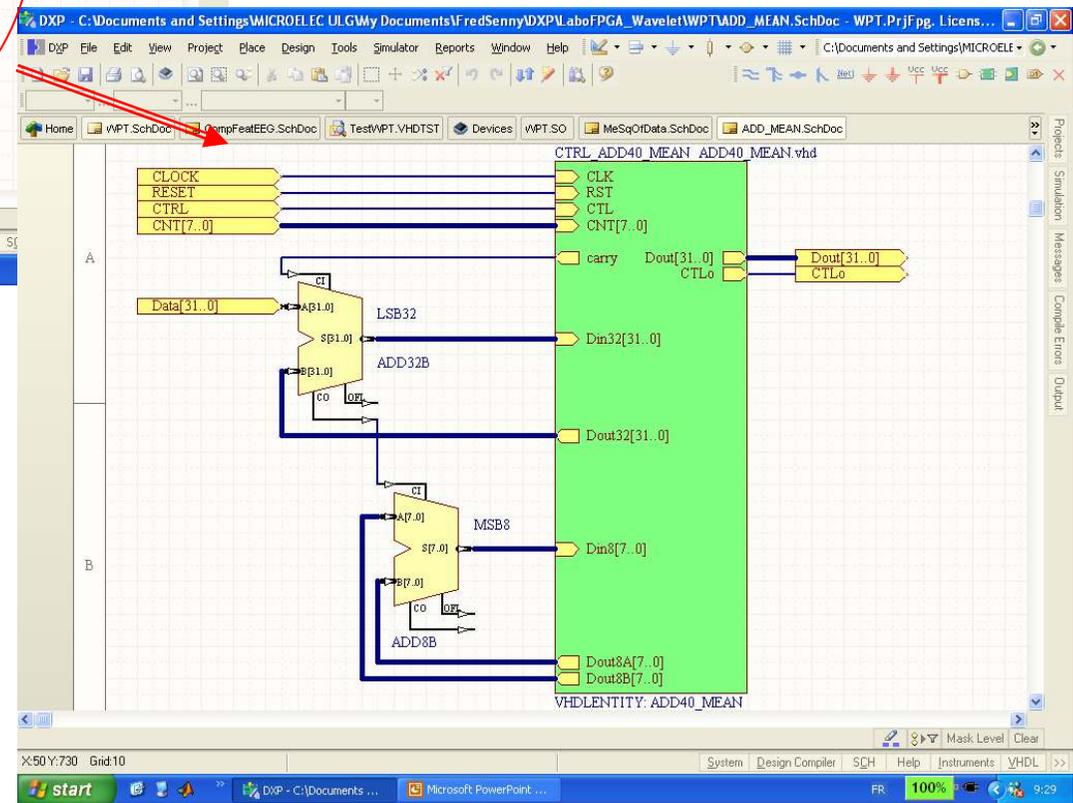
Ei/Etot

E totale

Ei = Somme et moyenne



$$WC_{ij} * WC_{ij} = |WC_{ij}|^2$$



$|wc_{ij}|^2$ et moyenne
sur CNT échantillons

$CNT = 2^k \Rightarrow$ « shift » (*)

Prise de décision

Reconnaissance des stades du sommeil (W,NREM,SWS,REM)

En pratique...

- **Sous MATLAB**
 - Calculer les grandeurs *comme sur FPGA*
 - Entraîner un arbre de décision à l'aide de l'outil LNKnet
- **Sous DXP**
 - Programmer l'arbre en VHDL
If ... then ... else...
 - Convertir la sortie en message sur BCD

Références

- [1] FPGA: www.xilinx.com, <http://www.fpgajournal.com/>
- [2] Tutorial Altium Designer, www.sebastien-moutault.net/doc/tutorialProtel.pdf
- [3] Tutorial Altium Designer, <http://www.montefiore.ulg.ac.be/~senny/>
- [4] Filtres FIR sur http://en.wikipedia.org/wiki/Finite_impulse_response
- [5] Ondelettes (FWT) et paquets d'ondelettes (WPT): A Wavelet Tour of Signal Processing by S. Mallat, 1999.
Lien: <http://www.cmap.polytechnique.fr/~mallat/book.html>
- [6] Toolbox WaveLab pour Matlab: <http://www-stat.stanford.edu/~wavelab/>
- [7] SpO2, Nasal Flow: recherche sur http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
- [8] ECG: design hardware sur <http://focus.ti.com/lit/an/slyt226/slyt226.pdf> ou http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/29-3/low_power.html
- [9] EEG, règles de marquage des stades du sommeil: Rechtschaffen, A; Kales, A (1968). *A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System For Sleep Stages of Human Subjects*. US Dept of Health, Education, and Welfare; National Institutes of Health ou http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
- [10] Le sommeil et les apnées: recherche sur http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page et <http://www.sleepnet.com/>