



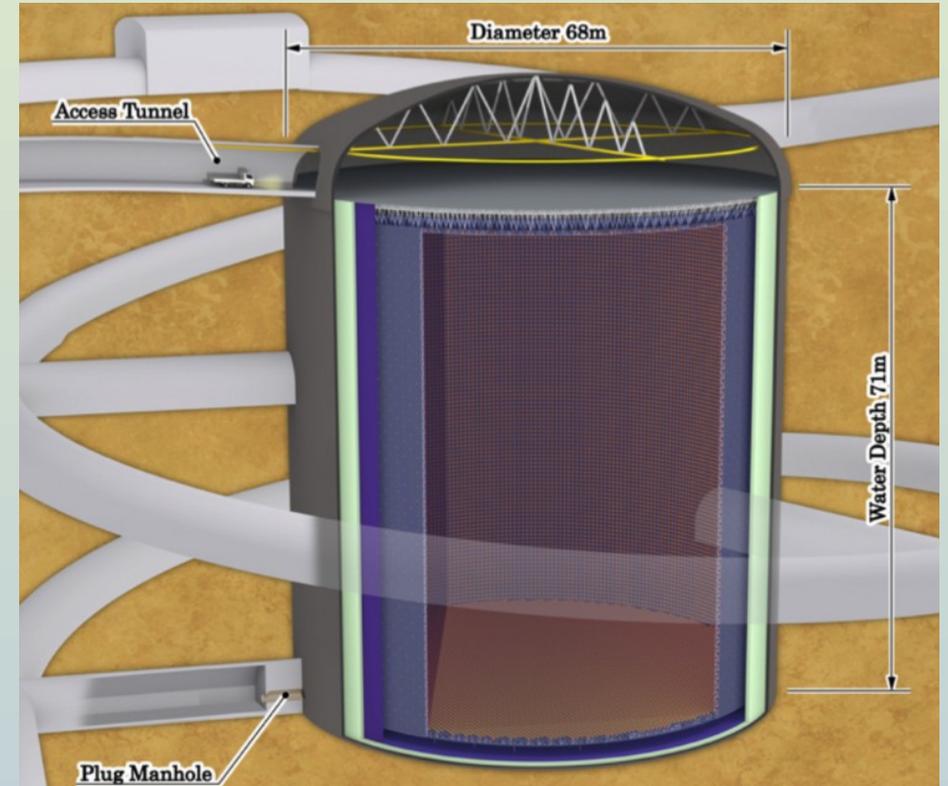
Digitizer_v2 : une carte de numérisation de signaux à destination des détecteurs à neutrinos

Jérôme NANNI

Axel ROELLINGER

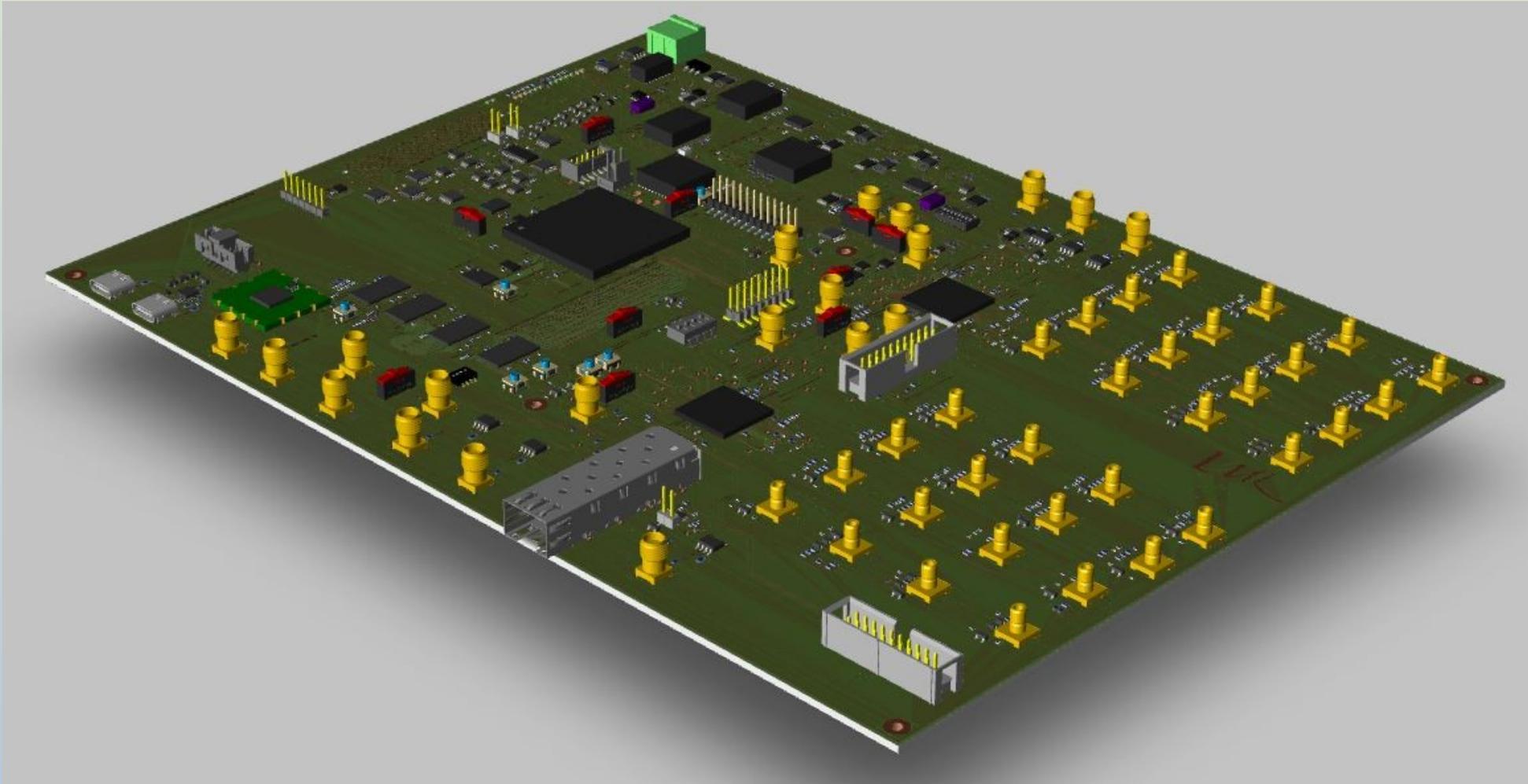
L'expérience Hyper-Kamiokande

- Caractérisation physique des neutrinos
- Cylindre creusé sous la montagne
 - Hauteur de 71 m, diamètre de 68 m
 - Permet de réduire l'impact de nombreuses particules parasites (muons atmosphériques)
- Principe de détection
 - $\nu_e + n \rightarrow e^- + p / \nu_\mu + e^- \rightarrow \mu^- + \nu_e$
 - Électron ou muon se propageant plus vite que la lumière dans l'eau
 - Apparition d'une lumière bleue : effet Tcherenkov
 - Lumière recueillie par des photo-multiplicateurs, numérisée puis traitée



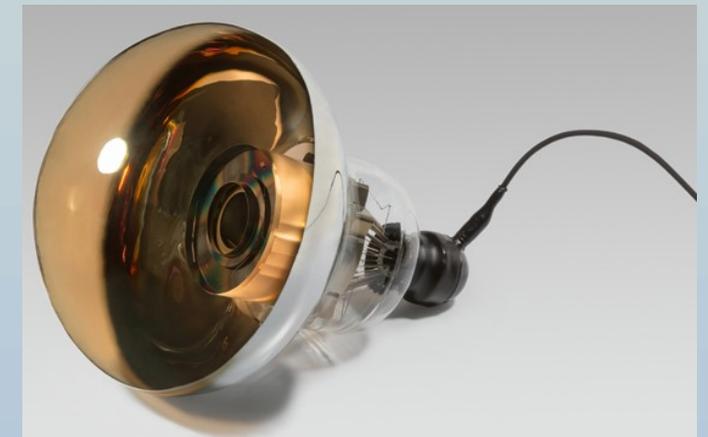
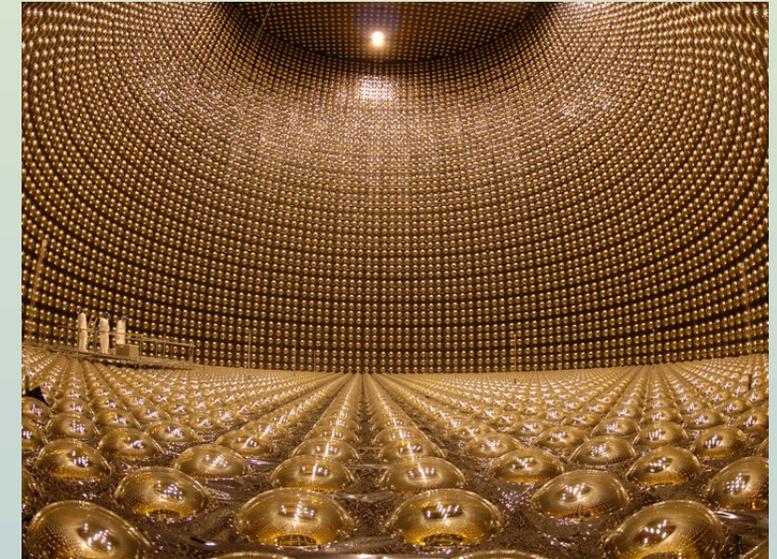
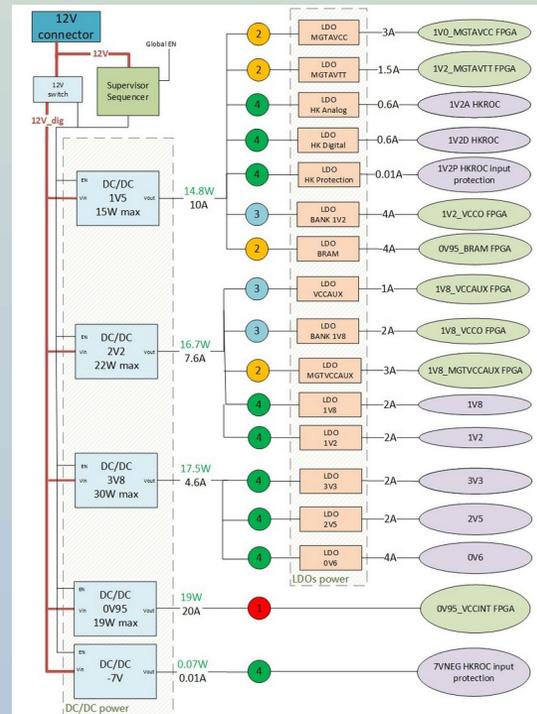
Vue en coupe de la cavité du détecteur Hyper-Kamiokande

Carte Digitizer pour HK



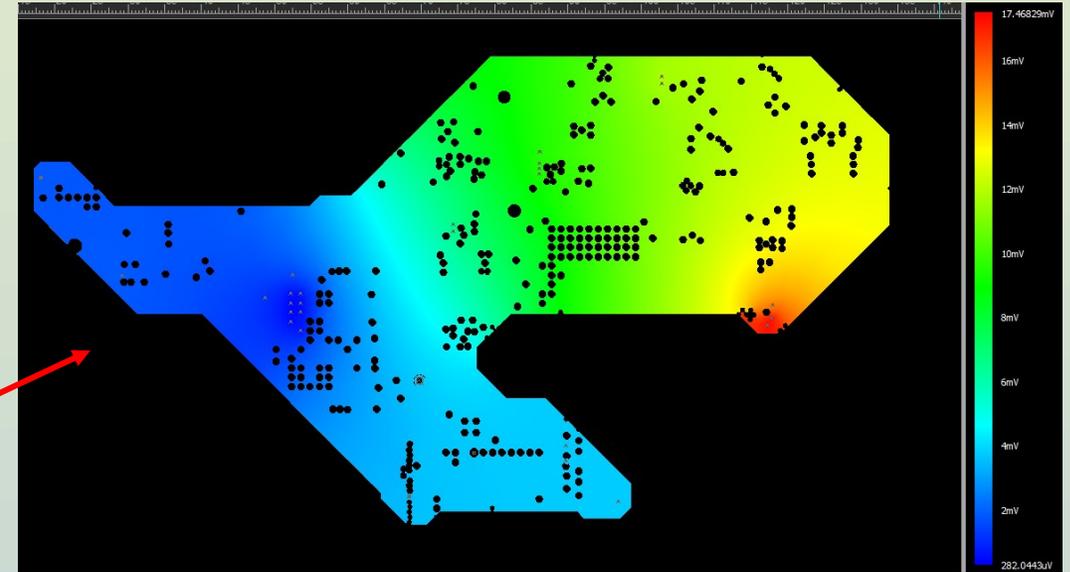
Carte Digitizer_v2

- Expérience pour la physique des Neutrinos
- Carte dédiée à la lecture de 32 PM
 - 72 voies de lecture (2 x HKROC)
 - DC/DC + LDO
 - Superviseur d'alimentation
 - FPGA Kintex Ultrascale
 - DDR4 16 Gbit x4
 - 16 couches
 - 1600 composants
 - Consommation 70W
 - 25 références de tension
 - 10 liens à 1.28Gbps
 - 80 pages de schéma
 - Epaisseur du PCB 2mm

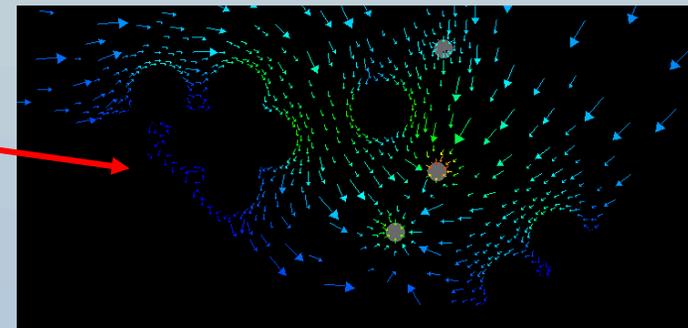
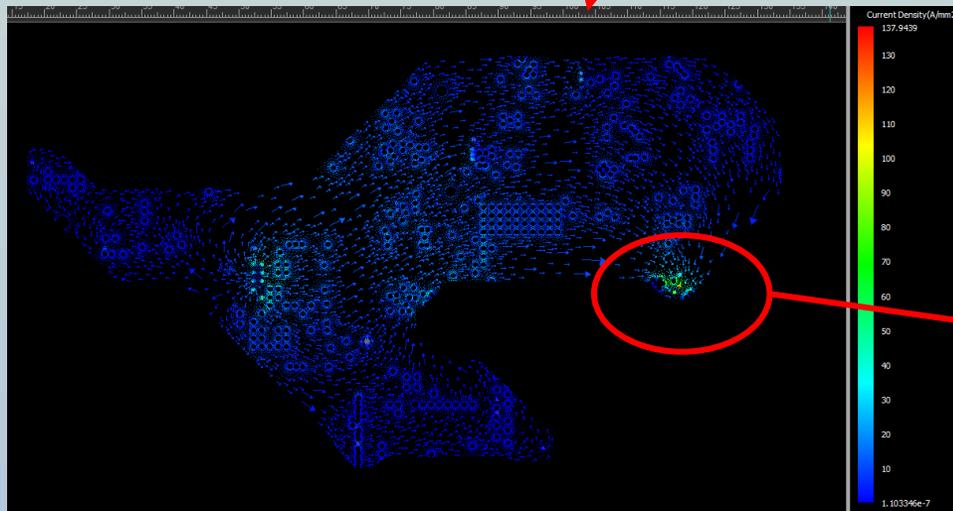


Simulations DC

- Plusieurs mesures possibles
 - Voltage => mesure DC
 - **IRDrop** => chute de tension
 - **Current density**
 - Power density

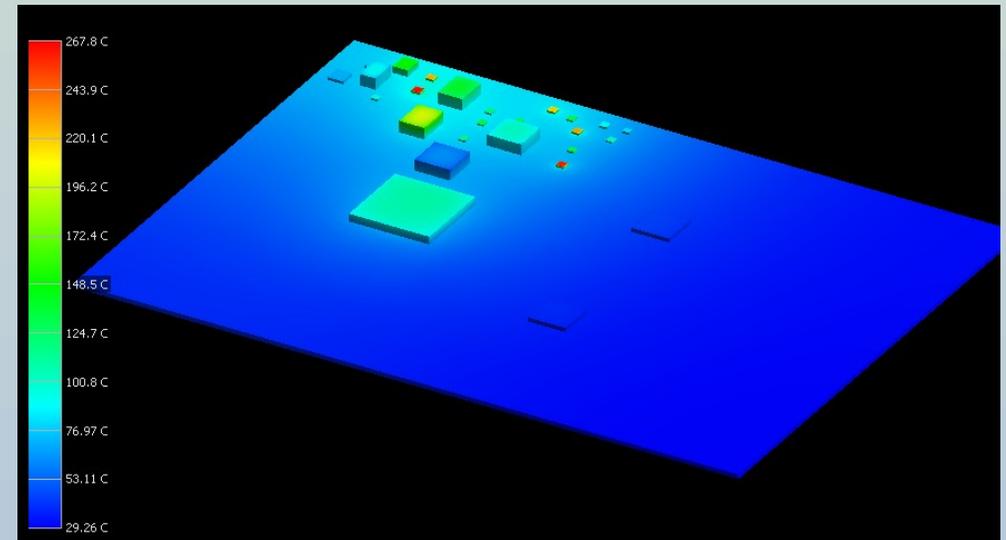
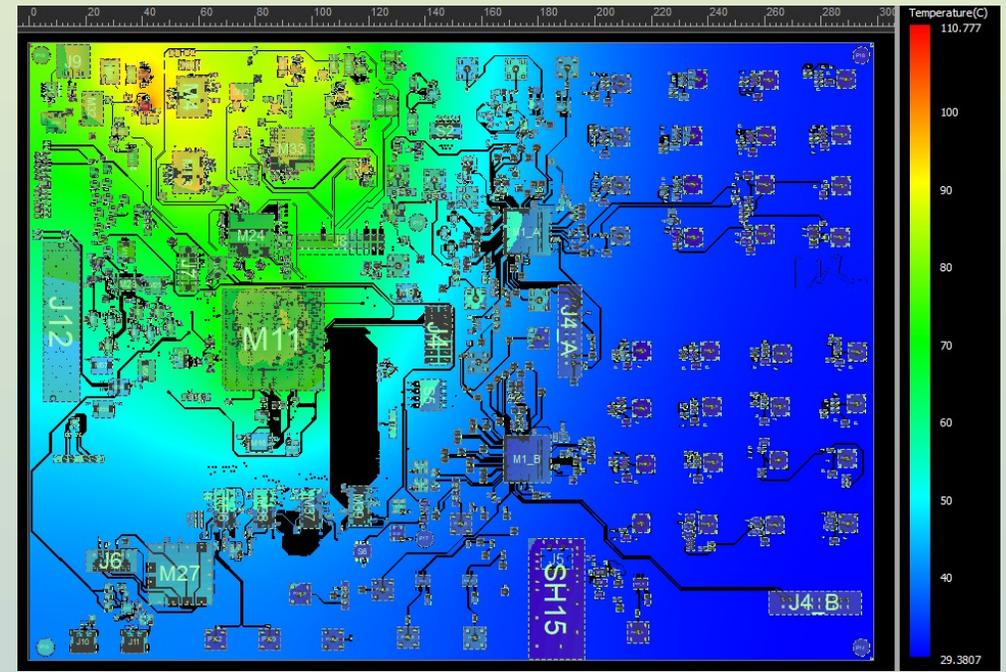


VRM Voltage	Sink Voltage	Discrete Current	Other Component Voltage	Power Loss	Probes Measurements	Global Via Current	Global Via Current Density	Specific Via Current	Global Plane Current
Tolerance Unit %									
Sink Name	Model	Nominal Current (A)	Nominal Voltage (V)	Upper Tolerance(+%)	Lower Tolerance(-%)	Actual Voltage (V)	Margin(%)	Positive Pin Average Voltage	
SINK_M97_12V_I...	Equal Current	0.001	12	Not In Use	2	12	✓ 2,00041	12	
SINK_M153_12V_...	Equal Current	3.8	12	Not In Use	2	11.9762	✓ 1,80129	11.9785	
SINK_M24_12V_I...	Equal Current	0.06	12	Not In Use	2	11.9965	✓ 1,97076	11.9993	
SINK_M32_12V_...	Equal Current	0.001	12	Not In Use	2	11.9621	✓ 1,68433	11.9632	
SINK_M4_12V_DI...	Equal Current	1.6	12	Not In Use	2	11.9575	✓ 1,64601	11.9579	
SINK_M13_12V_...	Equal Current	1	12	Not In Use	2	11.957	✓ 1,64182	11.958	
SINK_M33_12V_...	Equal Current	1	12	Not In Use	2	11.9546	✓ 1,62128	11.9568	
SINK_M58_12V_...	Equal Current	0.06	12	Not In Use	2	11.9615	✓ 1,67913	11.9624	

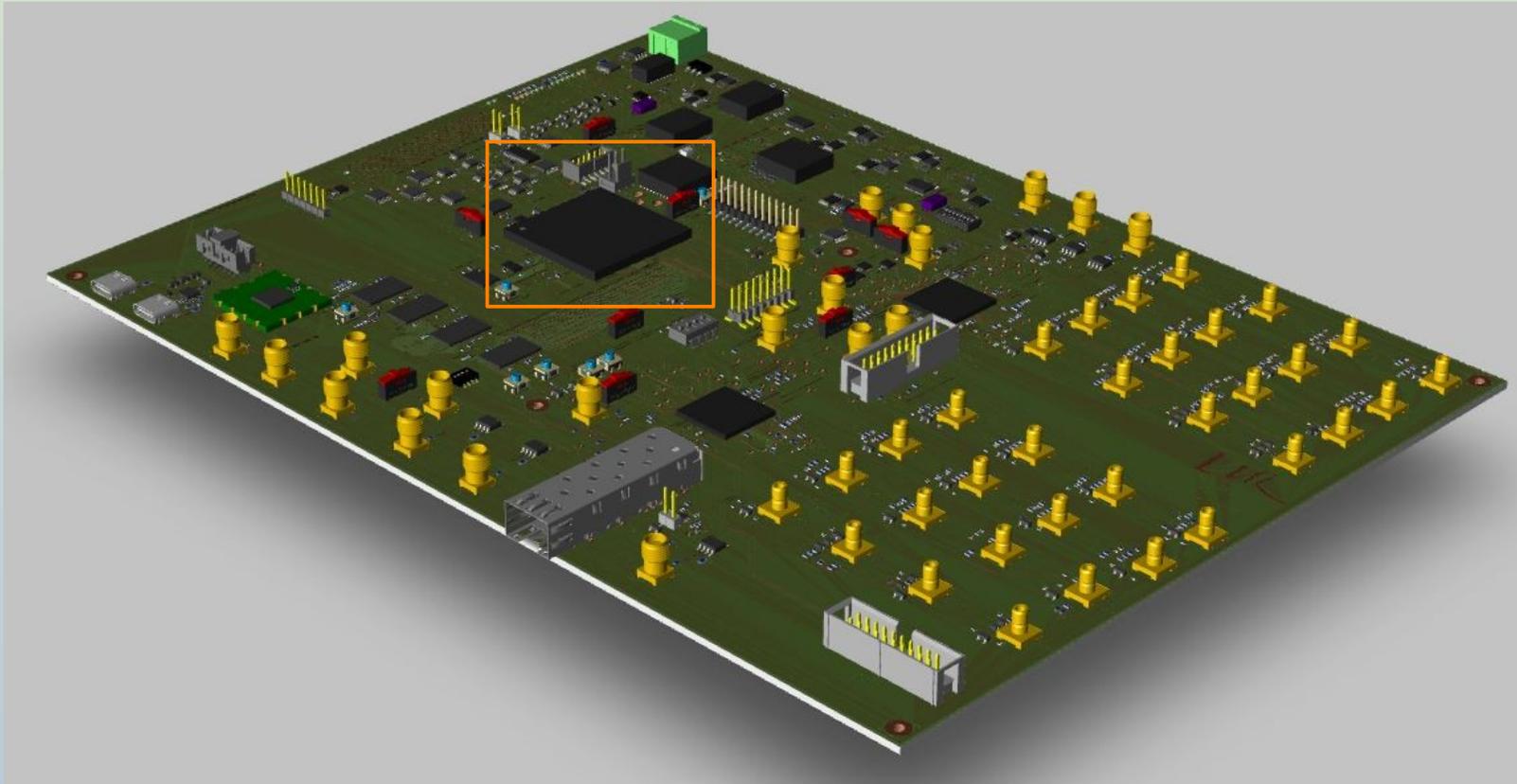


Simulation thermique

- Simuler la dissipation dans le PCB
 - Calculer la dissipation de chaque élément
 - LDO: $P_{lost} = (V_{in} - V_{out}) \times I$
 - DC/DC: $P_{lost} = P_{out} \times \left(\frac{1}{n-1}\right)$
- Nécessité d'ajouter un radiateur ?
 - Estimer le besoin, tester différents formats
 - Chercher un radiateur chez un revendeur



Le firmware de la carte Digitizer_v2



- FPGA : cerveau de la carte
 - Fonctions logiques directement implémentées
 - Reconfigurable à la volée
 - Fournit une interface avec l'extérieur
 - Moins efficace qu'un ASIC, mais moins cher !

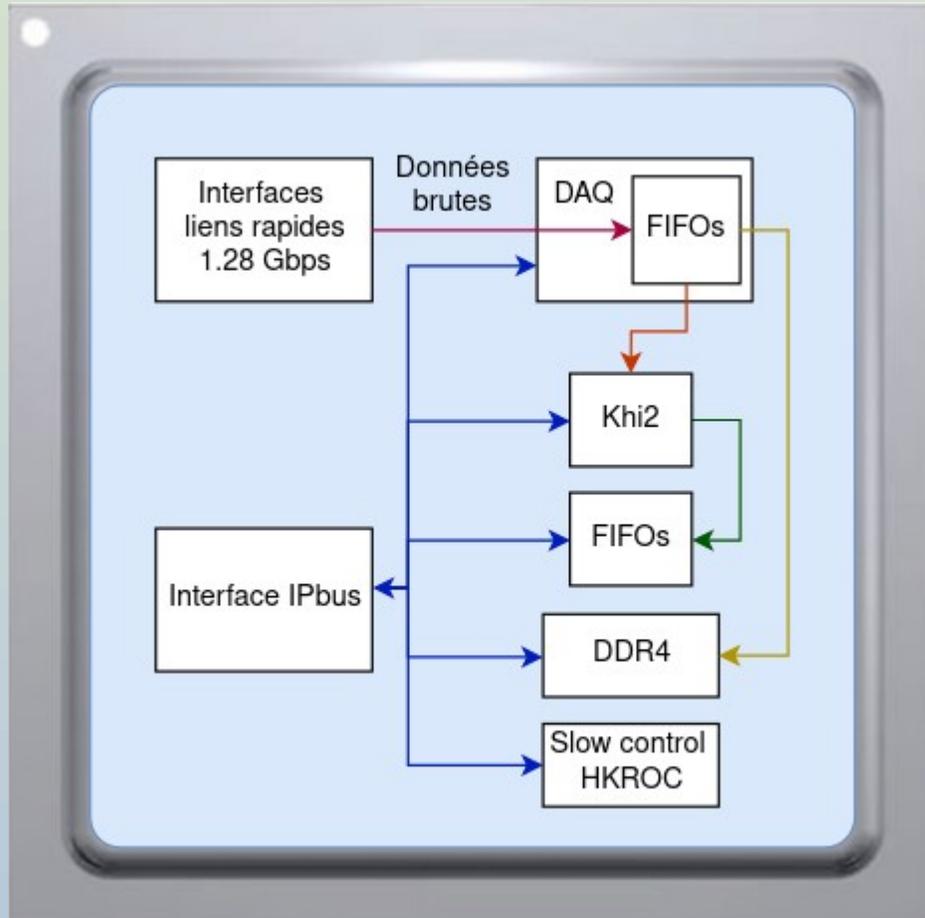


Le firmware de la carte Digitizer_v2

Cahier des charges du firmware

- Interface carte ↔ monde extérieur
- Paramétrage des ASICs HKROC
 - Lien I²C (slow control)
 - Lien 40 MHz (« fast command »)
- Pré-traitement mathématique des événements
- Envoi des données vers des serveurs distants + board ID
- Stockage sur mémoire DDR4 lors des supernovae

Le firmware de la carte Digitizer_v2



➤ Module clé : test du χ^2

- Comparaison des données brutes avec un jeu de référence
- Implémentation d'un pipeline pour gagner du temps

➤ Équation

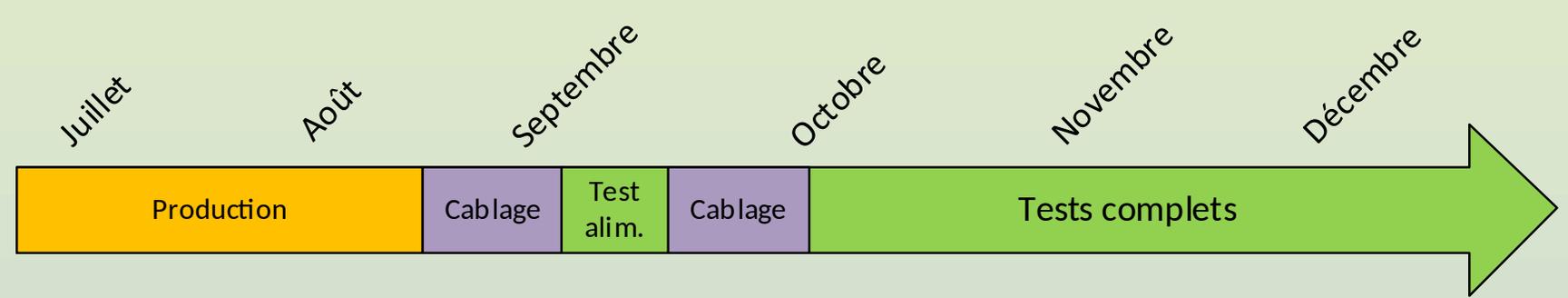
$$\chi^2 = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{(q_i - \alpha w_i)^2}{\sigma_i^2}, \alpha = \frac{\sum_i w_i q_i}{\sum_i w_i^2}$$

➤ Pipeline

$$(w_i q_i \rightarrow \sum w_i q_i, w_i^2 \rightarrow \sum w_i^2) \rightarrow \alpha$$

$$\alpha w_i \rightarrow (q_i - \alpha w_i) \rightarrow (q_i - \alpha w_i)^2 \rightarrow \sum_i (q_i - \alpha w_i)^2$$

Planning



- Production de 3 cartes, réception mi-Août
- Septembre: câblage d'une carte pour tester les alimentations
- Mi-Septembre: câblage de 2 cartes complètes
- Octobre: début des tests de la carte
 - Tests hardware
 - Mise au point du firmware
 - Evaluation des performances
- Fin d'année, transfert aux médecins
 - Test avec un générateur de signaux
 - Test avec un PM type HK