

Rapport de stage ingénieur

Février - Août 2008

« Caractérisation d'un détecteur CCD »

THALES



Tuteur entreprise : Mr. **Teva Gilbert**

Tuteur école : Mr. **Philippe Lorenzini**

Thales Alenia Space
100, boulevard du midi
06156 Cannes la Bocca

ThalesAlenia
Space
A Thales / Finmeccanica Company

Remerciements :

Avant toute chose, je tiens à remercier les personnes sans qui mon stage n'aurait pas pu avoir lieu :

- Le chef du service Detection :
 - M. Christophe Renard.
- Mon maître de stage :
 - M. Teva Gilbert, responsable du laboratoire Détection.
- Toute l'équipe Détection du projet Sentinel 3 :
 - M. Laurent Bonnet, architecte de la chaîne Détection
 - M. Vincent Coupé, ingénieur Détection.
 - M. Alfonso Rodriguez, ingénieur de Test Détection.

Je remercie également tous les employés de Thales Alenia Space que j'ai été amené à côtoyer tout au long de mon stage et plus particulièrement mes collègues de bureau.

Je tiens également à remercier M. Jean-Luc Ribet de la société Aériel pour son aide lors de la mise en oeuvre des essais.

Table des matières

I) Introduction.....	8
II) L'entreprise et le contexte.....	9
2.1) Présentation de la société.....	10
2.2) Présentation du site de Cannes.....	12
III) Le satellite : Sentinel 3	15
3.1) Historique.....	15
3.2) Programmes d'observation.....	15
3.3) Présentation du satellite.....	17
3.4) Description.....	18
IV) Description du stage.....	19
4.1) Sujet.....	19
4.2) Etude du besoin.....	20
V) Gestion du projet.....	21
5.1) Méthodologie et planning.....	21
5.2) Ressources.....	22
VI) Description du détecteur CCD.....	23
6.1) Présentation.....	23
6.2) Séquence de lecture du CCD.....	26
6.3) Lecture de la matrice.....	27
6.4) Binning.....	30
6.5) Etude du détecteur.....	30
6.6) Comparaison CCD/CMOS.....	32
VII) Présentation du dispositif de test.....	33
VIII) Description du banc de test.....	35
8.1) Matériel.....	35
8.1.1) Le caisson et sa hotte classe 100.....	35
8.1.2) Le banc optique.....	36
8.1.3) La baie de contrôle.....	39
8.1.3.1) Alimentations.....	39
8.1.3.2) Carte d'acquisition.....	41
8.1.3.3) Carte de séquençement.....	42
8.1.4) Le dispositif central.....	43
8.1.4.1) Le support.....	43
8.1.4.2) Carte détecteur.....	44
8.1.4.3) La régulation thermique.....	46
8.1.5) Les câblages.....	49
8.2) Logiciel.....	50
8.2.1) La régulation thermique.....	51
8.2.1.1) Cas d'usages.....	51
8.2.1.2) Analyse.....	51
8.2.1.3) Algorithme.....	53
8.2.1.4) Description.....	53
8.2.2) La gestion des alimentations.....	55
8.2.2.1) Cas d'usages.....	55

8.2.2.2) Analyse.....	55
8.2.2.3) Description.....	57
8.2.3) Le pilotage du banc optique.....	58
8.2.3.1) Cas d'usages.....	58
8.2.3.2) Analyse.....	59
8.2.3.3) Description.....	59
8.2.4) Le pilotage du puissancemètre.....	60
8.2.4.1) Cas d'usages	61
8.2.4.2) Analyse.....	61
8.2.4.3) Description.....	62
8.2.5) Le séquençement des horloges.....	62
8.2.5.1) Cas d'usages.....	63
8.2.5.2) Analyse.....	63
8.2.5.3) Description.....	64
8.2.6) L'acquisition vidéo.....	65
8.2.6.1) Cas d'usages.....	65
8.2.6.2) Analyse.....	65
8.2.6.3) Description.....	66
8.2.7) La reconstruction de palier.....	67
8.2.7.1) Cas d'usages.....	68
8.2.7.2) Analyse.....	68
8.2.7.3) Description.....	69
8.2.8) La mesure de linéarité.....	70
8.2.8.1) Cas d'usages.....	70
8.2.8.2) Analyse.....	71
8.2.8.3) Description.....	71
<u>IX) Difficultés rencontrées.....</u>	<u>72</u>
9.1) Carte d'acquisition NI 5922.....	72
9.2) Contrôleur de flux Newport.....	74
9.3) Dynamique de sortie du détecteur	74
9.4) couplage sur les phases.....	75
<u>X) Réalisation des essais.....</u>	<u>76</u>
10.1) Mise en oeuvre du matériel	76
10.2) Les tests.....	77
10.2.1) La linéarité.....	77
10.2.2) PRNU.....	79
10.2.3) VDARK.....	80
10.2.4) DSNU.....	80
10.2.4) DARK NOISE.....	81
10.2.5) Efficacité de transfert.....	81
<u>XI) Conclusion.....</u>	<u>83</u>

Index des illustrations

Illustration 1: Historique de Thales Alenia Space.....	10
Illustration 2: Répartition par domaine d'activité (2007).....	10
Illustration 3: Répartition par client (2007).....	10
Illustration 4: 11 sites industriels en Europe (7200 employés).....	12
Illustration 5: Organisation Ingénierie et Avant-Projets.....	14
Illustration 6: Vues du satellite.....	17
Illustration 7: Zoom sur le module OLCI.....	18
Illustration 8: Image de qualité MERIS.....	19
Illustration 9: Diagramme de Gantt.....	21
Illustration 10: Schéma de principe pour le CCD.....	24
Illustration 11: Capteur CCD monté avec sa mécanique.....	25
Illustration 12: Séquence de lecture d'un CCD.....	29
Illustration 13: Allure d'un signal video.....	31
Illustration 14: Description de la configuration de test CCD S3 BBM.....	33
Illustration 15: Configuration avec filtre optique 650 nm.....	34
Illustration 16: Configuration sans filtre optique.....	34
Illustration 17: Caisson classe 100 et banc optique.....	35
Illustration 18: Représentation du dispositif optique.....	36
Illustration 19: Appareils de contrôle du banc optique.....	37
Illustration 20: Baie de contrôle.....	39
Illustration 21: Branchement des alimentations sur la carte détecteur.....	40
Illustration 22: Schéma de branchement des alimentations.....	40
Illustration 23: Dispositif central (carte + détecteur + régulation).....	43
Illustration 24: Support carte.....	44
Illustration 25: Vue mécanique de la carte interface.....	45
Illustration 26: Schéma bloc de la carte.....	45
Illustration 27: Schéma de câblage de la régulation en température.....	46
Illustration 28: Vue du système de refroidissement.....	48
Illustration 29: Conduction thermique entre deux couches.....	48
Illustration 30: Convection thermique.....	48
Illustration 31: Erreur de conversion.....	52
Illustration 32: Evolution de la température.....	52
Illustration 33: Logiciel de régulation en T°	54
Illustration 34: Logiciel de gestion des alimentations.....	57
Illustration 35: Logiciel du banc optique.....	59
Illustration 36: Logiciel Powermeter.....	62
Illustration 37: Logiciel de séquençement.....	64
Illustration 38: Signal vidéo avant saturation (axe X/Y : lignes/pixels et axe Z : mV) ..	66
Illustration 39: Logiciel d'acquisition vidéo.....	66
Illustration 40: Dynamique maximum, Ligne 42 pixel 408, reconstruction de palier....	68
Illustration 41: Obscurité, Ligne 42 pixel 408, reconstruction de palier.....	69
Illustration 42: Logiciel de reconstruction de palier.....	69
Illustration 43: Logiciel de mesure de linéarité.....	71
Illustration 44: Temps de réponse des filtres antirepliement.....	73

Illustration 45: Les trois horloges Iphi durant un Frame Transfert.....	75
Illustration 46: Acquisition brute d'un pixel.....	78
Illustration 47: Signal utile.....	78
Illustration 48: Signal utile normalisé.....	79

I) Introduction

Dans le cadre de mes études à l'école Polytechnique de Nice Sophia-Antipolis, j'ai été amené à effectuer un **stage ingénieur** lors de ma dernière année. C'est ainsi que dans la continuité de ma formation, mon stage s'est déroulé au sein l'entreprise **Thales Alenia Space**, leader européen dans le domaine des satellites, basé à Cannes La Bocca. Le projet sur lequel j'ai travaillé lors de mon stage est en rapport avec le dispositif de détection (CCD) du futur satellite d'observation nommé **SENTINEL 3**. Mon stage s'est essentiellement déroulé dans un laboratoire afin d'étudier, préparer et réaliser des tests sur un capteur CCD.

L'objet du stage est la caractérisation d'un **détecteur** utilisé dans S3. La principale difficulté a été de tenir compte du contexte **planning** présent au démarrage de l'activité. Différentes notions sont nécessaires pour la réalisation de ce stage, notamment au niveau informatique (**LabVIEW**), électronique analogique, mécanique et même thermique. Les compétences sur les capteurs d'images se sont quant à elles développées tout au long du stage.

Ce document présente l'évolution du travail durant mon stage ingénieur (durée : six mois), avec notamment la présentation de l'entreprise, du projet S3, du détecteur, ainsi que la présentation des détails techniques et des difficultés rencontrées.

Pour récupérer une version numérique de ce document, il suffit de demander à l'adresse :

- gendre@polytech.unice.fr

ou à mon maître de stage :

- teva.gilbert@thalesaleniaspace.com

II) L'entreprise et le contexte

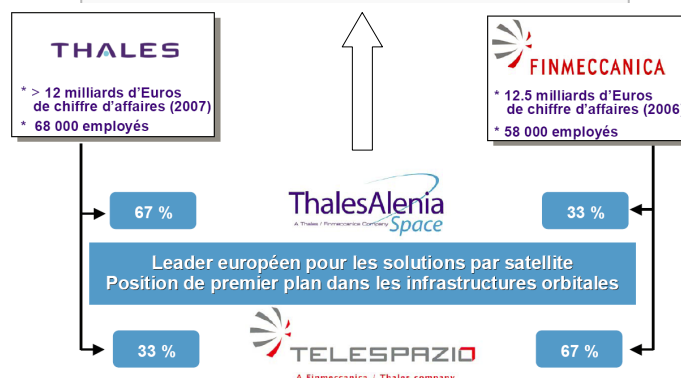
Le stage ingénieur s'est déroulé au sein de Thales Alenia Space :



Thales Alenia Space
100, Boulevard du Midi
06156 Cannes La Bocca
+ 33 (0)4 92 92 70 00
<http://www.thalesaleniaspace.com>

Thales Alenia Space est née le 10 avril 2007 par l'apport à Thales des activités spatiales d'Alcatel-Lucent détenues dans Alcatel Alenia Space. Thales Alenia Space est devenue en 2006 le **leader mondial** en terme de commandes et premier constructeur en Europe dans le domaine des **satellites**. L'entreprise est détenue à 67% par Thales et à 33% par Finmeccanica. Son siège social est basé au centre spatial de Cannes Mandelieu.

Repères historiques	
Création :	2007
Personnages clés :	Reynald Sez nec, PDG
Fiche d'identité	
Actionnaires :	Thales, France, 67% et Finmeccanica, Italie, 33%
Activité(s) :	Satellite artificiel
Société mère :	Thales & Finmeccanica
Effectif :	7200
Site corporatif :	http://www.thalesaleniaspace.com
Données financières	
Chiffre d'affaires :	1,8 Mds Euros en 2004



2.1) Présentation de la société

Thales Alenia Space s'affirme aujourd'hui comme une référence mondiale dans le développement de **technologies spatiales** dans des domaines aussi divers que les télécommunications, la navigation, la météorologie, la gestion de l'environnement, la défense et la sécurité, l'observation, les sciences. Le siège social de Cannes (lieu du stage) emploie **1900 personnes** dont une grande majorité d'ingénieurs et cadres, il développe des spécialités de haute technologie mondialement reconnues. En 2006, la société était numéro 1 mondiale en terme de satellites commandés.

L'illustration suivante présente les différents **regroupements** de l'entreprise :

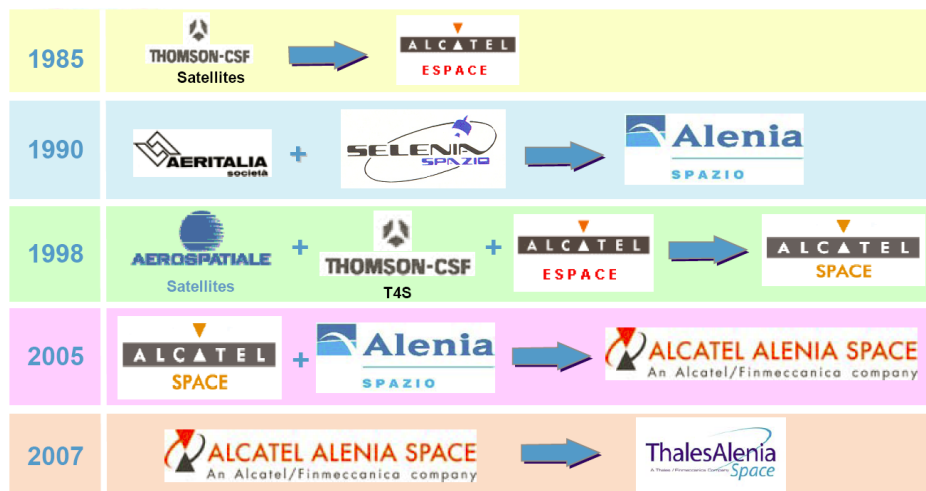


Illustration 1: Historique de Thales Alenia Space

Les illustrations suivantes présentent son **portefeuille d'activités** :

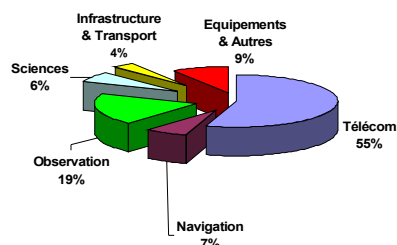


Illustration 2: Répartition par domaine d'activité (2007)

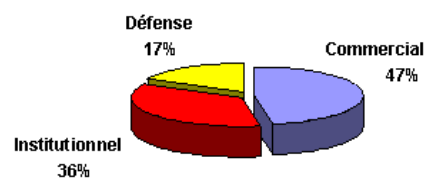


Illustration 3: Répartition par client (2007)

(Voir annexe 1 : « Thales alenia Space, des clients dans le monde entier »).

Le palmarès de Thales Alenia Space :

- Numéro un européen pour les systèmes satellitaires
- Numéro un mondial pour les charges utiles de télécommunication
- Numéro un européen pour l'espace de défense
- Numéro un européen des systèmes de navigation
- Une expertise majeure dans le domaine de la science et de l'exploration
- Des technologies de pointe pour l'observation de la Terre
 - Des instruments optiques et radar haute et très haute résolution
 - Des plates-formes pour l'orbite basse
 - Leader mondial en météorologie et océanographie
- Partenaire majeur dans l'infrastructure et les transports orbitaux

Les réalisations de Thales Alenia Space :

- 8 systèmes complets
 - Pour les télécommunications
 - WorldSpace (3 satellites), Europe*Star, Rascom, Italsat
 - Pour l'observation
 - COSMO-SkyMed (4 satellites)
 - Pour la navigation
 - EGNOS
 - Pour la défense
 - Sicral (2 satellites)
 - Syracuse III (2 satellites)
- 61 satellites Spacebus
 - 51 lancés (dont 32 opérationnels)
 - 10 en cours de fabrication
- Plus de 200 charges utiles de télécoms
- 13 satellites d'observation/surveillance de l'environnement
- 37 charges utiles d'observation/surveillance de l'environnement
- 11 satellites Météosat
 - 7 de première génération

- 4 de seconde génération
- 11 satellites scientifiques
- 20 charges utiles scientifique
- Infrastructure & transports spatiaux (50 % du volume pressurisé de l'ISS)



Implantations de l'entreprise :



Illustration 4: 11 sites industriels en Europe (7200 employés)

2.2) Présentation du site de Cannes

Premier employeur industriel de la Côte d'Azur avec 1900 employés,
l'Etablissement de Cannes c'est :

- Un site historique : 80 ans de passion dans l'aéronautique et l'Espace.

- Plus de 35 ans d'expérience dans le domaine spatial, avec plus de **100 satellites déjà lancés** et une participation à plus de **400 programmes spatiaux**.
- La réalisation de satellites scientifiques, d'observation de la terre, de météorologie, de télécommunication et de télévision directe.
- Des moyens d'essais et d'intégration qui en font un site unique en Europe (plus de 13500 m² en classe 100000 dont 8700 m² d'un seul tenant pour la fabrication et les tests des satellites).
- Des bureaux d'études, des centres de calculs, des laboratoires, des ateliers de fabrication.
- Le premier Centre Européen d'optique spatiale.
- La maîtrise d'œuvre d'une dizaine de programmes spatiaux.
- Des satellites clés en main : support aux opérations, formation du client, maîtrise d'œuvre de centres de contrôle, contrôle des satellites en orbite.
- Des spécialités mondialement reconnues : une gamme étendue de compétences (structures, mécanismes, contrôle thermique, câblage, propulsion, roues à paliers magnétiques, sous-systèmes générateurs solaires, alimentation électrique, gestion bord et contrôle d'attitude, logiciels bord et sol, optique spatiale, télédétection et traitement d'image, antennes, segment sol de contrôle).

Le personnel :

(Voir annexe 2 : « une organisation transnationale »).

L'équipe de travail au laboratoire était composée d'un stagiaire (moi même), de M. Teva Gilbert (mon maître de stage) et de M. Alfonso Rodriguez.

Mes horaires de travail : 7h30 - 9h00 jusqu'à 16h00 - 18h00 du lundi au jeudi

7h30 - 9h00 jusqu'à 15h00 - 17h00 le vendredi

J'avais à ma disposition un bureau ainsi qu'un accès total au laboratoire Détection sous réserve du port d'un « Bip homme mort » (contrôle de sécurité).

Le lieu :

Thales Alenia Space est un des membres fondateurs des associations Telecom Valley, APPIM, du Club High Tech et du Pôle Spatial Côte d'Azur. Elle génère une activité importante de sous traitance locale, contribuant ainsi activement à l'économie et à l'emploi dans la région Provence Alpes Côte d'Azur.

Le travail :

Thales Alenia Space située à Cannes est constituée de plusieurs services mais il est évident que nous nous intéresserons plus particulièrement au **service Détection** dans lequel j'ai évolué tout au long du stage. Le responsable de ce service est M. RENARD Christophe, il est en charge de 10 personnes dont le rôle est d'étudier, de spécifier et de tester des chaînes de Détection.

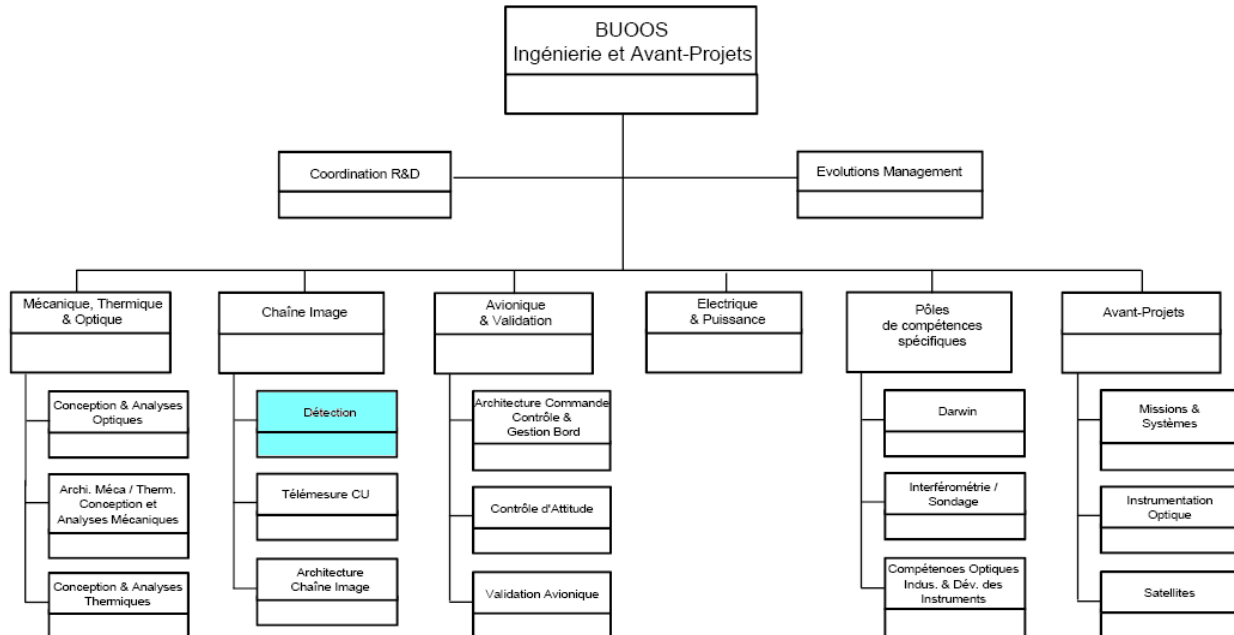


Illustration 5: Organisation Ingénierie et Avant-Projets

III) Le satellite : Sentinel 3

3.1) Historique

Thales Alenia Space a signé le 14 avril un contrat avec l'Agence Spatiale Européenne (ESA) pour la fourniture de **Sentinel 3**, dans le cadre du programme **GMES** (Global Monitoring for Environment and Security). Le satellite, qui devrait être lancé en 2012, emportera 4 instruments : **mesure optique de la couleur**, mesure de la température de surface, radar altimétrique et radiomètre micro-onde. Les mesures combinées des deux premiers instruments permettront entre autre d'assurer la continuité de l'instrument VEGETATION (embarqué à bord de SPOT 5), tandis que les deux derniers assureront des missions de topographie dans la lignée d'ENVISAT.

La mission S3 (mesure optique de la couleur) est dédiée à l'océanographie et à la surveillance de la végétation sur les terres émergées.



3.2) Programmes d'observation

Les satellites d'observation de la Terre jouent un rôle clé à la fois dans les domaines civils et militaires, surveillant toutes les composantes de notre planète. C'est la seule technologie capable de fournir une couverture véritablement globale, particulièrement sur les zones très étendues que sont les océans ainsi que sur les régions peu peuplées (déserts, montagnes, forêts, régions polaires). Les données issues de

l'observation de la Terre sont exploitées par plus de 300 équipes de chercheurs. Petites ou grandes entreprises et agences publiques (météo...) utilisent les données d'observation à la fois pour des besoins opérationnels et commerciaux.

Thales Alenia Space a participé à plus de 45 missions d'observation de la Terre, en équipe avec des partenaires du monde entier tels que l'ESA (Agence Spatiale Européenne), la NASA (Agence Spatiale Américaine), des agences spatiales nationales (CNES, ASI, KARI), la NOAA ou Eumetsat.

Océanographie, climatologie, météorologie, Thales Alenia Space contribue à tous ces domaines d'application de l'observation spatiale par des savoir faire multiples qui s'appuient sur deux pôles de compétences complémentaires : la maîtrise des plates-formes d'observation et celle des capteurs hyperfréquence et optique de très grande précision. La réussite des missions d'observation de la Terre auxquelles participe Thales Alenia Space depuis plus de 25 ans démontre sa maîtrise des technologies les plus pointues en optique, radar et communications.

GMES est une initiative clé de la Commission Européenne et de l'ESA dont le but est de fournir dès 2008 les premiers services "fast track" et de délivrer aux décideurs européens des informations fiables dans le domaine de la gestion de l'environnement et de la sécurité. Cette initiative couvrira les problématiques climatiques régionales, nationales et globales, la gestion de l'environnement et les aspects de sécurité civile. En particulier, GMES va générer et distribuer des informations sur l'environnement, facilitant l'échange des rapports d'experts, des données et des informations, permettant ainsi à tous les acteurs et décideurs de communiquer plus efficacement.

Le but de GMES est de coordonner des systèmes existants, de produire des services garantis et d'assurer leur continuité. Il devrait stimuler une capacité de croissance par la création de nouveaux capteurs d'observation et d'une grande variété de services à valeur ajoutée.

3.3) Présentation du satellite

La famille des Sentinelles se compose de **cinq séries de satellites** : la mission de Sentinel 1 est d'assurer la continuité des données fournies ERS et Envisat. Sentinel 2 et Sentinel 3 dont le lancement est prévu **en 2012** sont dédiées à la surveillance des terres et des océans. Sentinel 4 et Sentinel 5 seront dédiées à des missions de météorologie et de climatologie par l'étude de la composition de l'atmosphère.

En ce qui concerne le satellite S3, la chaîne OLCI, qui mesure le rayonnement visible et les radiations infrarouges thermiques, est dédié à la couleur des océans et des Terres émergées pour assurer notamment une surveillance de l'état des océans (courant, vie marine...) et des zones côtières (pollution, courant...). Cet instrument permettra une meilleure prévision des changements et une meilleure gestion des ressources.

Le satellite Sentinel 3 est représenté sous la vue suivante :

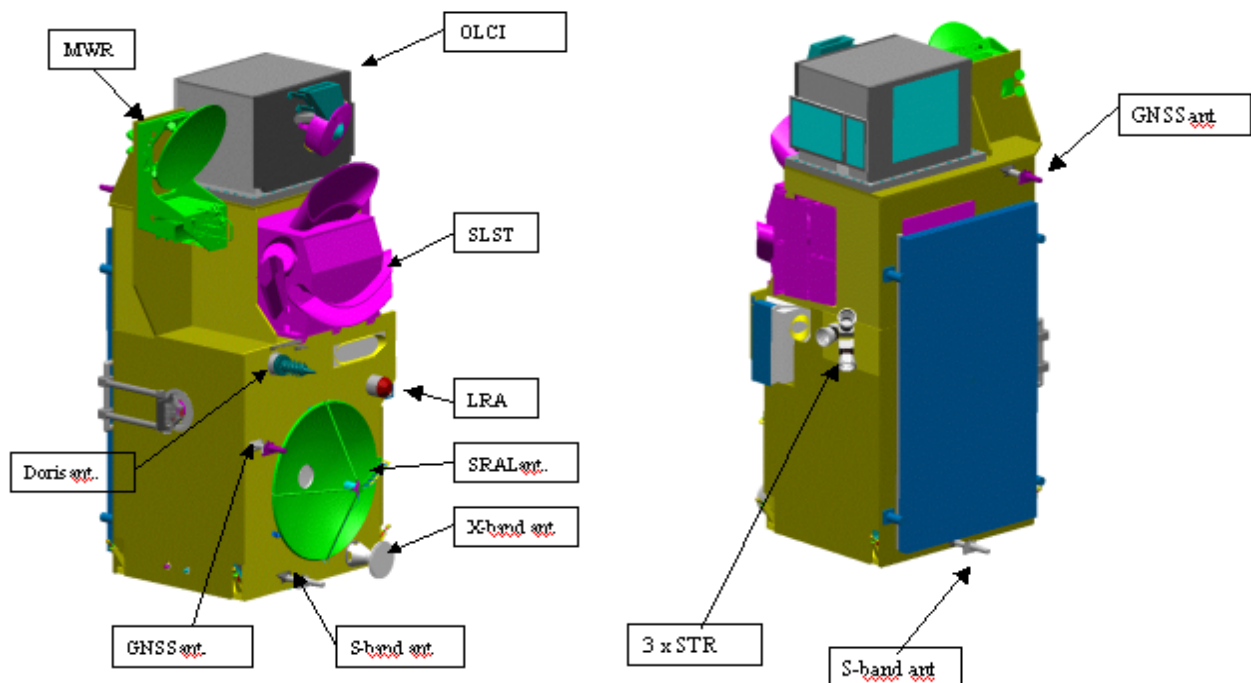


Illustration 6: Vues du satellite

(Voir le glossaire pour les abréviations).

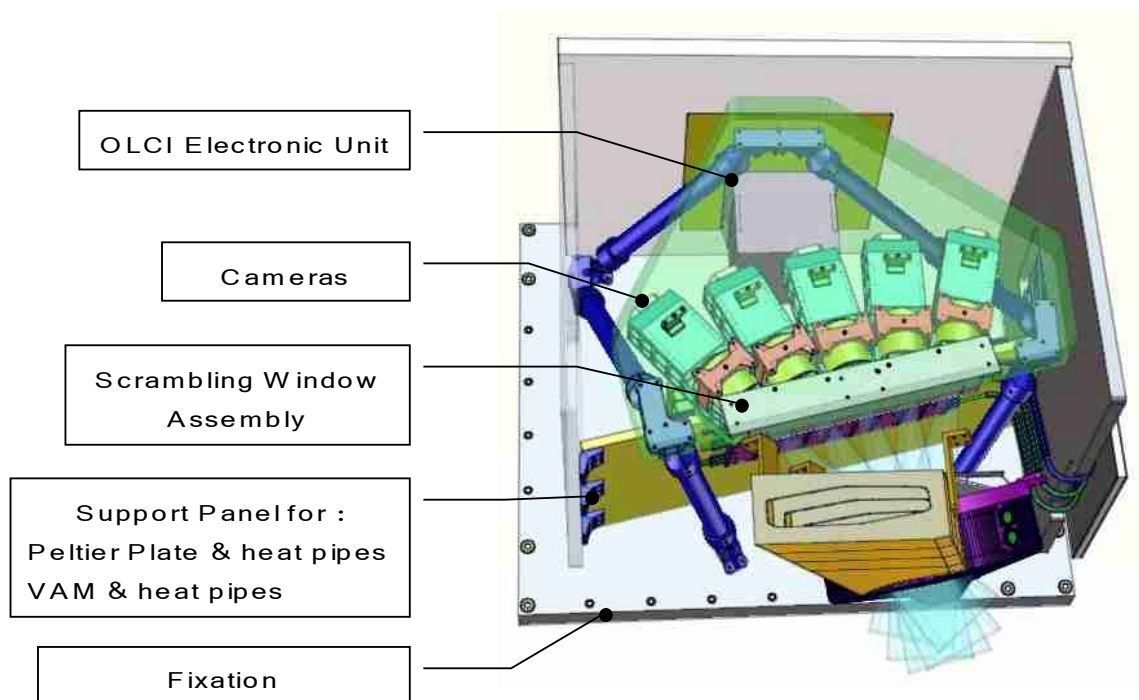


Illustration 7: Zoom sur le module OLCI

3.4) Description

Tous les sites de Thales Alenia Space sont impliqués dans ce gros contrat

- **Cannes : Satellite, avionique et instrument OLCI**
- Toulouse: Altimètre SRAL
- Charleroi : Equipements de l'altimètre SRAL
- Madrid : Chaîne de détection de l'instrument OLCI & Unité électronique radiomètre micro-ondes
- Rome : Plate-forme
- Milan : Plan focal de l'instrument OLCI et modules d'acquisition vidéo

Les deux autres instruments sont développés par Selex Galileo et EADS CASA..
(Voir annexe 3 : « organigramme de mission S3 »).

Le satellite aura une durée de vie de **7 ans** minimum avec un poids d'un peu plus d'une

tonne et une dimension de 4m par 2m par 2m.

Il devrait assurer une qualité d'image légèrement supérieure au capteur MERIS du satellite ENVISAT :

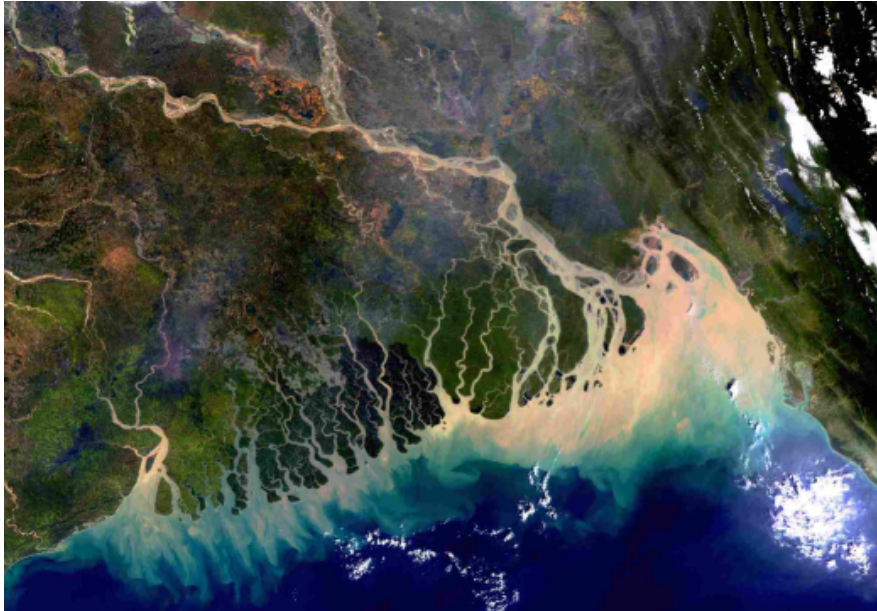


Illustration 8: Image de qualité MERIS

IV) Description du stage

4.1) Sujet

Dans le cadre du développement d'un instrument de type **spectroradiomètre**, Thales Alenia Space souhaite mettre en place un **moyen de test** afin de caractériser le détecteur visible en technologie **CCD** qui a été retenu pour cette application. La réalisation de ce moyen passe par une phase de validation qui doit prendre en compte le contexte planning présent au démarrage de l'activité. La première phase du projet est de mettre en place et de valider le banc de test qui sera utilisé pour la caractérisation du détecteur. Cette phase sera suivie d'une phase de **développement logiciel** (LABVIEW) puis d'une phase de préparation et de réalisation de l'**essai**.

4.2) Etude du besoin

Le but du stage est de tester le capteur CCD du modèle d'essai. Pour cela, le capteur **CCD 55-20** développé spécialement par E2V nécessite :

- Une salle régulée en température avec une hygrométrie contrôlée.
- Un caisson spécial pour reproduire une partie du vide spatial.
- Une carte électronique d'interface pour l'alimentation, le pilotage des horloges et la sortie du signal vidéo.
- Plusieurs alimentations pour la connection sur la carte interface.
- Une mécanique adaptée pour être montée sur cette carte.
- Une régulation en température afin que le capteur fonctionne à la température adéquate.
- Un système de source optique avec ou sans filtre afin de reproduire les conditions de lumière dans l'espace (avec une mécanique adaptée sur le caisson).
- Une connectique adaptée entre les différents systèmes.
- Un ordinateur de test avec une liaison série, une liaison GPIB et des liaisons USB.
- Une carte d'acquisition **14 bits**.
- Une carte de séquençement pour générer les horloges.
- Un appareil de mesure optique pour déterminer les niveaux de luminosité sur le CCD.
- Un développement logiciel (LabView) pour :
 - L'alimentation du CCD.
 - La régulation en température.
 - Le pilotage de la source optique.
 - Le pilotage de l'appareil de mesure optique.
 - Le séquençement des horloges du CCD.
 - L'acquisition vidéo.
 - La reconstruction d'un palier vidéo.
 - La mesure de linéarité du capteur.

V) Gestion du projet

5.1) Méthodologie et planning

Au début de mon stage, durant quelques semaines, nous avons décidé de faire des recherches sur ce qu'il serait possible de faire en corrélation avec ce qu'il existait déjà au laboratoire. Nous faisons souvent le point sur l'avancement du projet lors de réunions.

Au terme des différentes études sur le matériel sélectionné, une phase de développement logiciel a débuté. Pour chaque logiciel de test développé, on adaptait une technique d'approche où l'on spécifiait d'abord le besoin et où l'on analysait ensuite l'avancement et/ou le résultat. Parallèlement à ceci, la mécanique du banc fût installée.

La phase de tests de la carte d'interface et du capteur s'est ensuite bien déroulée.

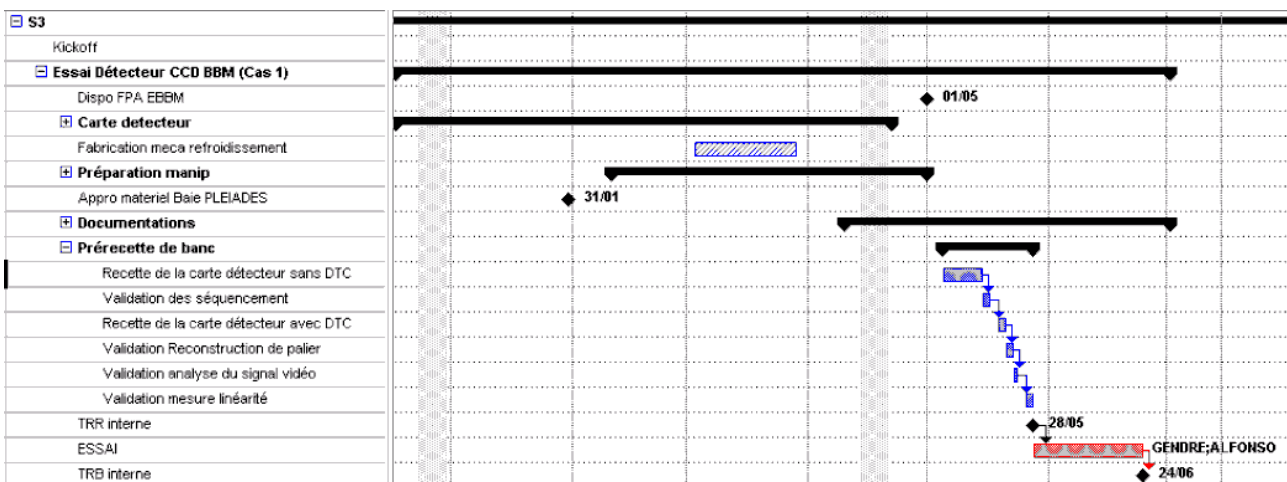


Illustration 9: Diagramme de Gantt

5.2) Ressources

Ressources humaines

Les personnes du projet et leurs fonctions (sous la responsabilité du chef de service Christophe Renard) :

- Laurent Bonnet : Chef de projet partie Détection S3, c'est lui qui définit l'orientation du projet, les besoins en terme de tests, les spécificités de certains tests, le budget du projet...
- Vincent Coupé : Responsable CCD/FPA, il exploite les résultats, vérifie les spécifications, et est en relation directe avec le fabricant...
- Alfonso Rodriguez : Responsable spécifications de test, c'est lui qui spécifie les méthodes de calcul pour les résultats de tests ainsi que le montage CCD + carte d'interface. Il est aussi en soutien pour effectuer les tests au laboratoire...
- Teva Gilbert : Responsable du laboratoire Détection, il s'occupe du matériel au laboratoire, des approvisionnements, des développements logiciels, de la recherche et mise en place de solutions adaptées aux tests spécifiés, des tests sur les capteurs en général...
- Moi même : Stagiaire du service Détection, je m'occupe du matériel, des développements logiciels, de l'étude et mise en place des systèmes, de la rédaction de documents et des tests.

Le projet se réunit régulièrement pour faire un état d'avancement des activités. Chaque problème rencontré fait l'objet d'une CRM (Critical Review Material). A la fin des tests, divers documents tels que « Méthode et moyen de mesure », « Manuel utilisateur », « Plan d'essai » et « Rapport de test » sont obligatoirement nécessaires afin de clore l'essai. Pour les documents officiels, une chaîne de signature est mise en place pour la validation successive.

Pour mener à bien la mission, l'équipe au laboratoire était composée dans un premier temps de mon tuteur de stage, et de moi même, puis dans un second temps

complétée par l'ingénieur spécification de test.

Ressources matérielles

Nous avons à notre disposition du matériel :

- Du matériel électronique de laboratoire.
- Du matériel mécanique de laboratoire.
- Des alimentations, des multimètres.
- Du câblage blindé ainsi qu'un poste pour la soudure.
- Des ordinateurs LabView de test.
- Tous les outils nécessaires à la réalisation de l'essai.

VI) Description du détecteur CCD

6.1) Présentation

On souhaite tester les caractéristiques du **capteur CCD** du satellite Sentinel 3. Le signal vidéo envoyé par celui-ci sera entre autre analysé.

Le CCD (*Charge-Coupled Device*, ou détecteurs à couplage de charge) est un des capteurs avec la meilleure sensibilité mais, du fait de son principe, le transfert de charges, est relativement lent. Mis au point par les Laboratoire Bell en 1969, il a rapidement été adopté pour des applications de pointe (imagerie astronomique) puis popularisé sur les caméras et appareils photo.

Un CCD est un capteur qui transforme les **photons lumineux** qu'il reçoit en paires électron-trou par effet photoélectrique dans le substrat semi-conducteur, puis collecte les électrons dans le **puits de potentiel**. Le nombre d'**électrons** collectés est proportionnel à la quantité de lumière reçue. À la fin de l'exposition, les charges sont transférées de **photosite** en photosite par des variations de potentiel cycliques appliquées aux grilles

(bandes conductrices horizontales, isolées entre elles par une couche d'oxyde de Silicium SiO₂) jusqu'au registre horizontal. Elles sont transformées en **tension**, proportionnelle au nombre d'électrons, dans la capacité d'une diode « flottante ». Ce signal sera, à l'extérieur du CCD **filtré** par un circuit avant d'être **amplifié** et **numérisé**.

Sur la figure ci-dessous, nous avons représenté non seulement l'électrode de transfert de charge, mais aussi le détecteur photoélectrique (correspondant à 1 pixel) (voir ci-dessous le schéma). On note l'effet d'éblouissement dans ce cas là puisque le détecteur est en saturation ici.

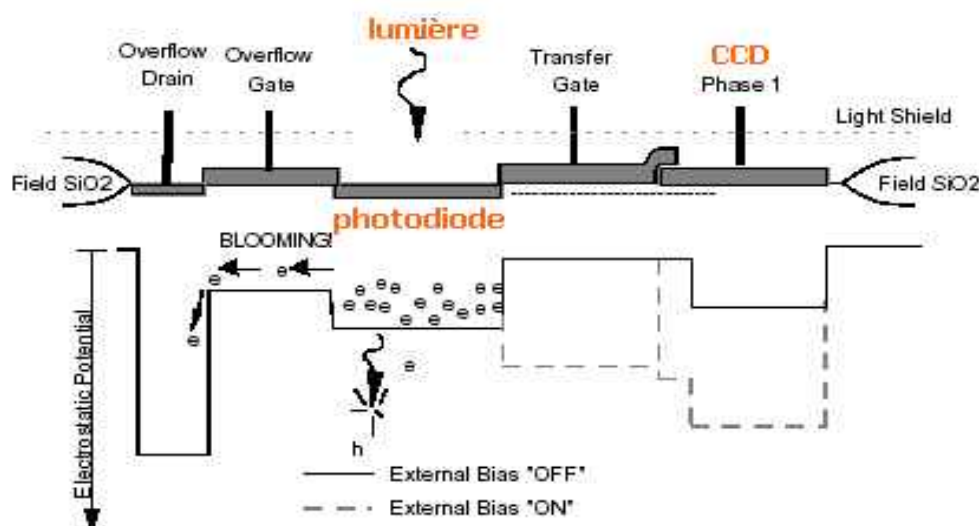


Illustration 10: Schéma de principe pour le CCD

Le capteur CCD 55-20 spécialement adapté par E2V pour Thales Alenia Space est un capteur CCD « à transfert de trame » (full frame transfer) : il associe **deux matrices CCD** de même dimension, l'une exposée à la lumière, l'autre masquée. On peut ainsi procéder à un **transfert rapide** de la matrice d'exposition vers la matrice de stockage puis à la numérisation de celle-ci en parallèle avec l'acquisition d'une nouvelle image.

- le principal inconvénient est de diminuer par deux la surface du photosite à taille de capteur égale (sensibilité moitié moindre).
- les autres inconvénients (réponse spectrale, éblouissement) demeurent.

Ce capteur comporte une zone photosensible de 576 lignes par 780 pixels. La taille totale du capteur est de 45,7 x 33,0 mm :

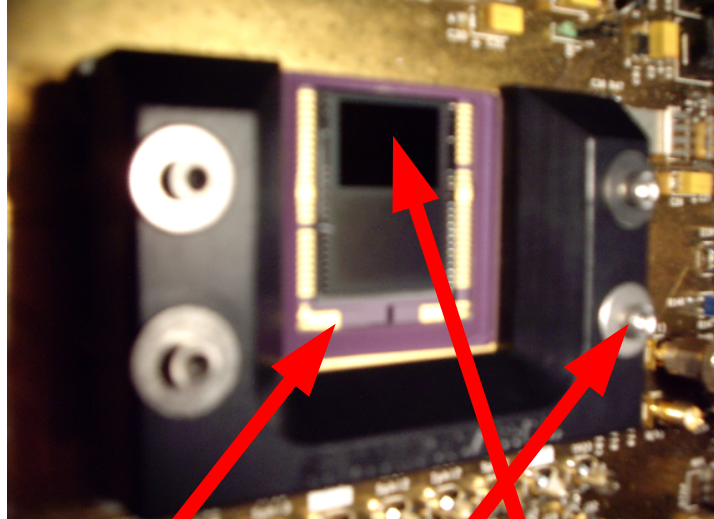


Illustration 1.2. Capteur CCD monté avec sa mécanique

Capteur CCD

Zone photosensible

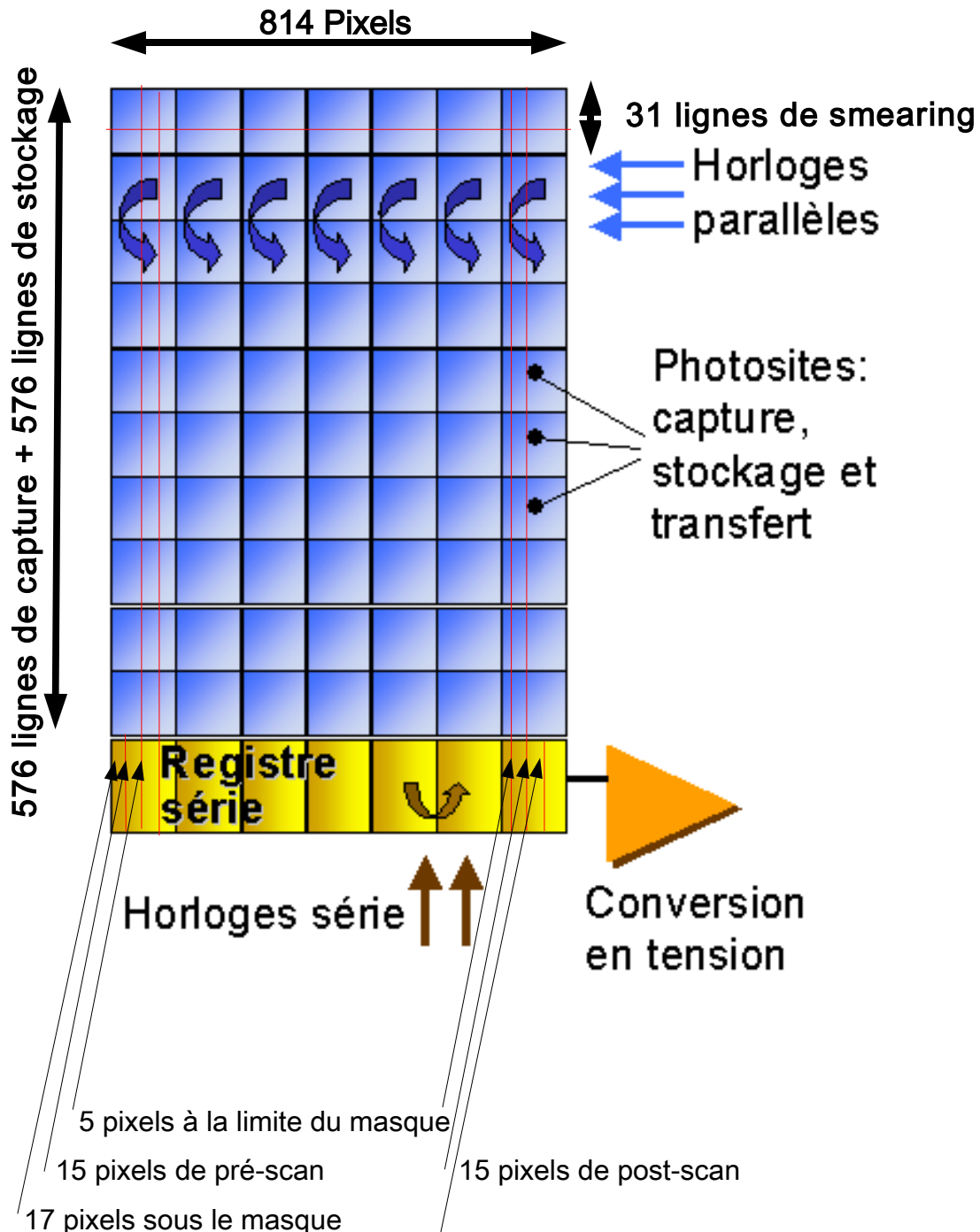
Mécanique de montage

En ne tenant compte que de la matrice photosensible et de la matrice de stockage contenue dans le capteur, la taille théorique de l'image est de 780 par 1152 pixels. Le registre série comporte quant à lui 1 ligne de 814 pixels car il possède 17 pixels sous le masque en début et fin de ligne.

(voir annexe 4 : « Spécification CCD 55-20 »).

6.2) Séquence de lecture du CCD

La figure suivante montre la disposition de la matrice 2 dimensions du détecteur :



Les pixels de pré-scan et de post-scan sont en fait des pixels positionnés sous le

masque du détecteur. ils permettent de mesurer l'offset du détecteur.

La zone de smearing est en fait une zone de référence qui permet de calculer la quantité de charge intégrée durant le transfert d'une ligne.

La matrice photosensible est le plus souvent représentative de la zone image tandis que la matrice de stockage ne représente que la zone de stockage. Les pixels sont arrangés en colonnes et en lignes. Les matrices des capteurs CCD à application spectroradiométrie sont généralement de cette taille (voir figure ci dessus). Le registre série est une simple ligne qui fonctionne en parallèle avec les autres lignes. Il a le même nombre de pixels qu'une ligne normale (+17 pixels sur chaque bord dans notre cas) mais il est masqué, c'est pourquoi la lumière n'a pas d'influence dessus.

Une fois que les photons arrivent sur le CCD, les électrons générés sont collectés et stockés dans les pixels. On obtient alors des paquets de charges à l'intérieur du capteur. Pour numériser ces charges dans l'ordinateur afin de traiter les données, il va donc falloir les transférer en dehors du composant. Les séries d'électrodes horizontales composants les matrices vont permettre le transfert vers le registre série.

Le registre série, étant composé d'électrodes verticales, va pouvoir transférer les paquets de charges un par un vers l'étage amplificateur (on transfère **2 pixels** à la fois dans l'étage de sortie).

6.3) Lecture de la matrice

Il y a 4 zones à prendre en compte pour notre capteur CCD :

- Zone photosensible
- Zone de stockage
- Registre CCD
- Étage de sortie :

- Registre de lecture (diode de lecture)
- Diode de reset
- Chaîne d'amplification

Le séquençement va permettre de générer les différents transferts à l'intérieur du CCD.
(Voir annexe 5 : « Séquençement des horloges »).

Séquençement :

- Frame transfert : Les charges passent de la zone photosensible vers la zone de stockage.
- Move without dump : Les charges sur une ligne passent de la zone de stockage vers le registre CCD (sans reset de la zone de stockage).
- Readout : Les charges passent du registre CCD vers l'étage de sortie.
- Move with dump : Les charges passent de la zone de stockage vers le registre CCD puis la zone de stockage subit un reset.
- Dump : Reset de la zone photosensible.
- Idle : Fonction d'attente.

Pour une image pleine résolution, les lignes sont transférées une à une dans le registre du CCD. Les éléments de ce registre sont ensuite transférés individuellement (2 pixels par 2 pixels pour le CCD 55-20) dans l'étage de sortie. Une fois tous les éléments transférés, on continue le processus avec la ligne suivante et ainsi de suite jusqu'à ce que toute l'image soit lue. Après numérisation et traitement, on peut alors obtenir une image 3D (n° pixel par n° ligne par tension(mV)) et calculer divers paramètres. La figure suivante explique tout le processus :

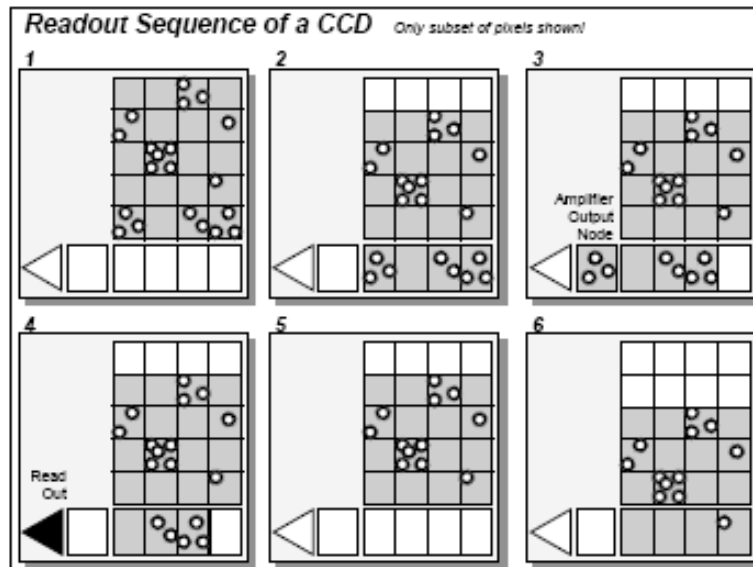


Illustration 12: Séquence de lecture d'un CCD

- (1) L'exposition à la lumière permet de charger une image (électronique) dans la zone photosensible du capteur CCD. Cette image est ensuite transférée dans la zone de stockage (Frame transfert).
- (2) Les charges sont transférées verticalement d'une ligne dans le registre série (Move without Dump).
- (3) Les charges sont ensuite transférées horizontalement de deux pixels dans l'étage de sortie amplificateur (Readout).
- (4) Les charges sont amplifiées puis sont converties dans un convertisseur analogique/numérique avant d'être lues.
- (5) Les étapes 3 et 4 sont répétées jusqu'à que le registre soit vidé.
- (6) L'image est de nouveau transférée verticalement d'une ligne. Le processus est donc répété depuis l'étape 3 jusqu'à ce que l'image entière soit lue.
- (7) Une fois la totalité de l'image lue, on effectue les actions Move with Dump, Dump et Idle afin de supprimer les charges du CCD (la durée pendant laquelle ces processus fonctionnent est appelée le temps d'intégration).

6.4) Binning

Le mode **Binning** est un processus qui permet la **combinaison de charges** de plusieurs pixels dans l'étape « Readout ». Accumuler les charges du capteur et effectuer un seul « Readout » est une action qui possède de meilleures performances en terme de bruit par rapport à la lecture de pixels un à un et leur traitement dans la mémoire de l'ordinateur. En effet, l'action « Readout » contribue de manière significative au bruit de lecture. Le gain en vitesse de lecture est un autre avantage non négligeable.

6.5) Etude du détecteur

Le CCD va détecter des images spatio-spectrales générées par le télescope et le spectromètre OLCI. Images spatio-spectrales : images composées de la direction spatiale en parallèle aux lignes du CCD et de la dispersion spectrale en parallèle aux colonnes du CCD. Le capteur doit être de type « back illuminated », c'est-à-dire que la structure du capteur est retournée afin que la lumière incidente soit plus facilement filtrée par un filtre anti réflexion. L'avantage essentiel de ce type de capteur reste le QE qui atteint des niveaux supérieurs à ceux d'un capteur de type « front illuminated ». QE signifie Quantum Efficiency, ce paramètre correspond à la probabilité qu'un photon incident génère un photoélectron sur le capteur CCD (de 0 à 100%). Ce paramètre varie en fonction de la longueur d'onde.

Le désavantage d'un tel capteur est bien sûr son coût lié aux diverses manipulations supplémentaires lors de sa conception.

Pour tous les séquençements prévus, l'intégration du dispositif OLCI (42,78 ms) doit rester constante. On utilise comme expliqué préalablement deux modes de séquençement, le premier est appelé « Full frame mode » et le second est appelé « Nominal mode » (le second utilise le principe du Binning).

La sortie : le signal vidéo :

La numérisation du signal vidéo consiste à prendre des échantillons en tension sur l'étage de sortie afin de vérifier les performances du détecteur par la suite. Voir sur la figure ci-dessous le signal vidéo typique sur un détecteur CCD :

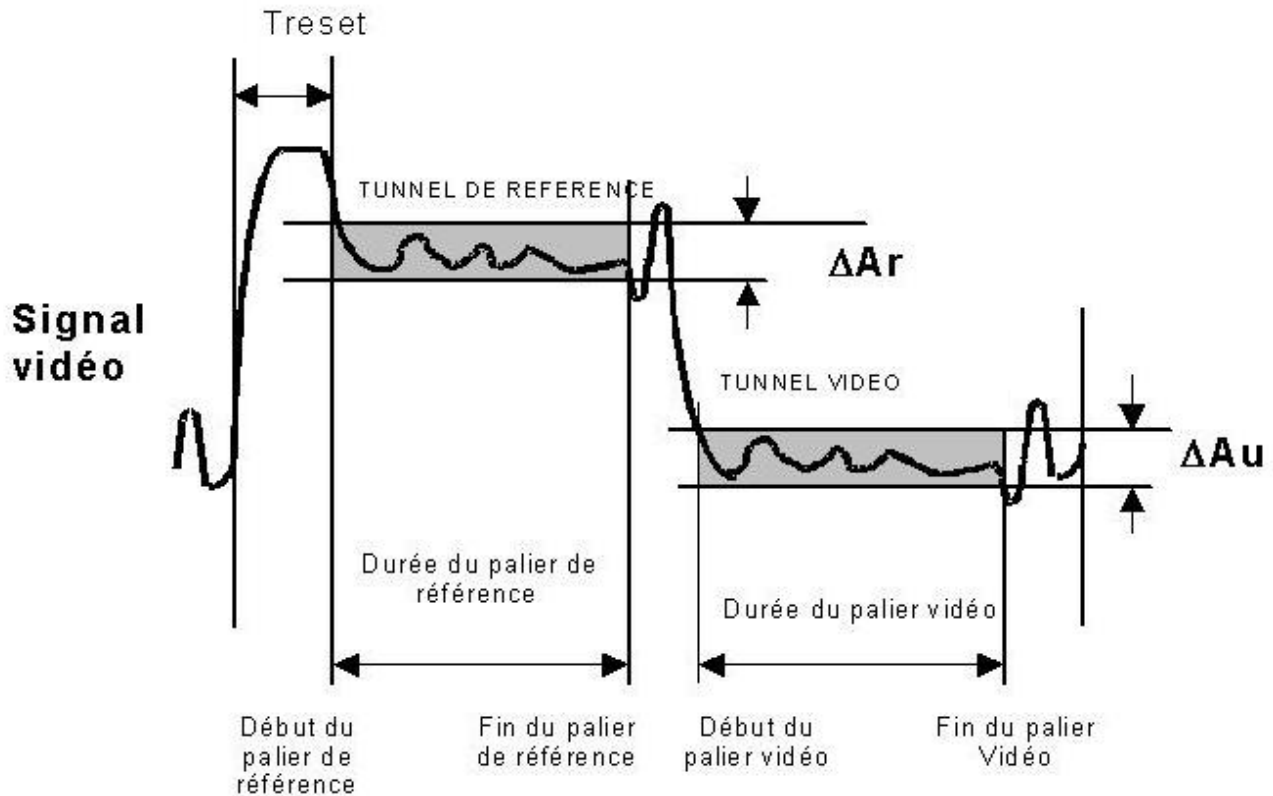


Illustration 13: Allure d'un signal video

Afin d'obtenir le signal utile, il suffit de soustraire le palier vidéo au palier de référence.

6.6) Comparaison CCD/CMOS

La technologie CCD survit car elle permet d'accéder à de meilleures performances radiométriques.

CCD	CMOS standard
<ul style="list-style-type: none"> ● faible bruit (<30 e-) ● non uniformité du courant d'obscurité lobs < 1% ● bonnes performances de PRNU (1..10%) ● faible courant d'obscurité (10pA/cm²) ● technologie spécifique au fondeur ● peu de fournisseurs ● pas de fonctions logiques : CAN, ... ● interfaces électriques complexes (phases, alimentations) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bruit plus élevé ● correction possible sur la puce ● performances de PRNU dégradées par rapport au CCD ● courant d'obscurité plus élevé (nA/cm²) ● technologie standard développée pour l'intégration à très grande échelle ● technologie bien maîtrisée ● intégration de fonctions logiques dans la puce : CAN, ... ● interfaces électriques simplifiées (2 horloges en niveau CMOS)

(PRNU : Pixel Response Non Uniformity : non uniformité de réponse du pixel).

Pour beaucoup de caractéristiques CCD et CMOS sont équivalents :

- Réponse spectrale (400...1000 nm)
- Taille de la puce et nombre de pixels : limité par la photolithographie
- Dimension mini (pas pixel : 3...5 um)
- Capacité de stockage

VII) Présentation du dispositif de test

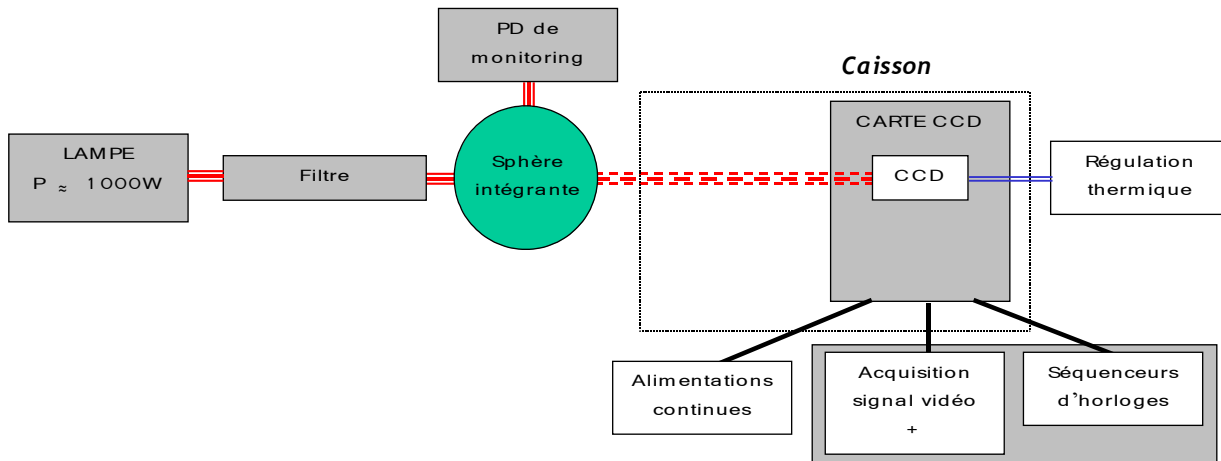


Illustration 14: Description de la configuration de test CCD S3 BBM

Les buts d'un tel banc de test sont de mettre le capteur CCD dans les conditions les plus proches du domaine spatial; de réaliser différentes mesures telles que la reconstruction d'un palier vidéo ou encore la linéarité; et d'analyser les résultats des mesures. C'est pourquoi ce banc de test est principalement constitué d'une partie **source optique** pour reproduire la lumière spatiale; d'une partie **baie de contrôle** pour gérer les alimentations, la partie optique, le refroidissement, le séquençage des horloges et l'acquisition vidéo; et d'une **partie principale** comprenant le caisson, la carte d'interface, le CCD et son système de refroidissement.

Le banc de caractérisation radiométrique est mis en oeuvre sur un caisson de la salle du laboratoire M06-005 (dimension 3m x 1.5m).

- La manipulation se fera sur le banc n°1 (Grand marbre) muni de son caisson d'obscurité et de sa hotte.
- La température du détecteur est réglée à 17°C.
- La salle de mesure est pourvue des conditions climatiques suivantes :
 - température contrôlée : $T = 20^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$
 - hygrométrie contrôlée : $\text{RH} = 50\% \pm 10\%$
 - pression ambiante

Les mesures prévues pour les essais s'effectueront avec un filtre optique 650 nm et sans filtre optique dans les configurations suivantes :

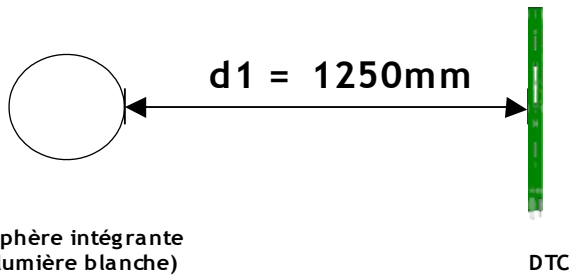


Illustration 16: Configuration sans filtre optique

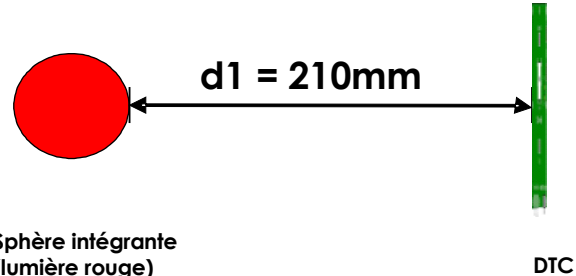


Illustration 15: Configuration avec filtre optique 650 nm

Les distances permettent d'obtenir la meilleure dynamique sur le détecteur avec une ouverture du diaphragme de la source lumineuse allant de 0% à 99%.

VIII) Description du banc de test

8.1) Matériel

8.1.1) Le caisson et sa hotte classe 100

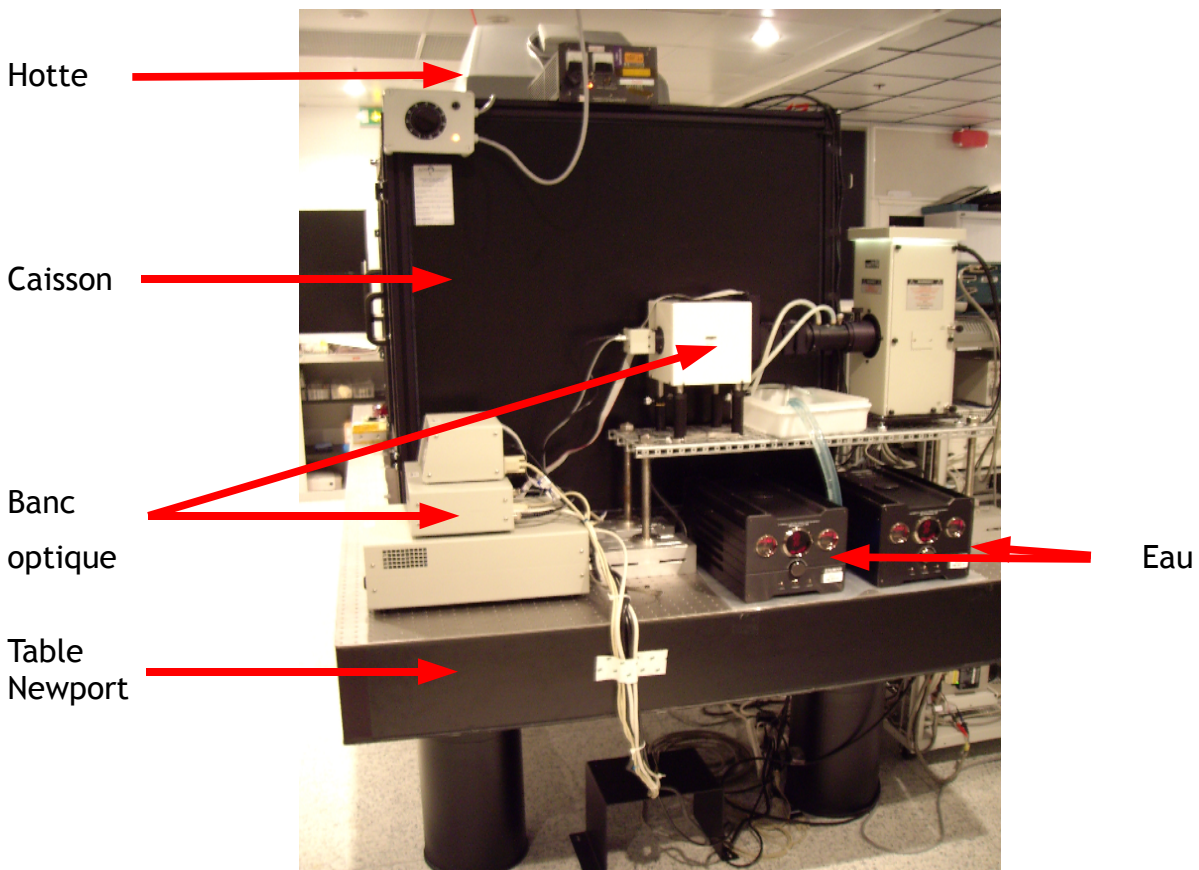


Illustration 17: Caisson classe 100 et banc optique

On remarque sur la photo la table Newport, le caisson et sa hotte classe 100. Classe 100 signifie 100 particules de 0,5 μm par pied cube et aucune de 5 μm . Il faut savoir que dans le vide spatial, il n'y a pas de particules élémentaires. On remarque de surcroît la présence du banc optique, du refroidisseur à eau pour le filtre du banc optique et du refroidisseur à eau pour le CCD.

8.1.2) Le banc optique

La partie optique est constituée avec :

- Une sphère intégrante de diamètre 6 pouces.
- Une lampe et une lentille convergente.
- Un filtre infrarouge (eau).
- Un atténuateur variable (diaphragme).
- Une pompe de circulation d'eau.
- Une photodiode.
- Des filtres optiques.

La majorité des appareils sont de la marque Newport mis à part le refroidisseur à eau.

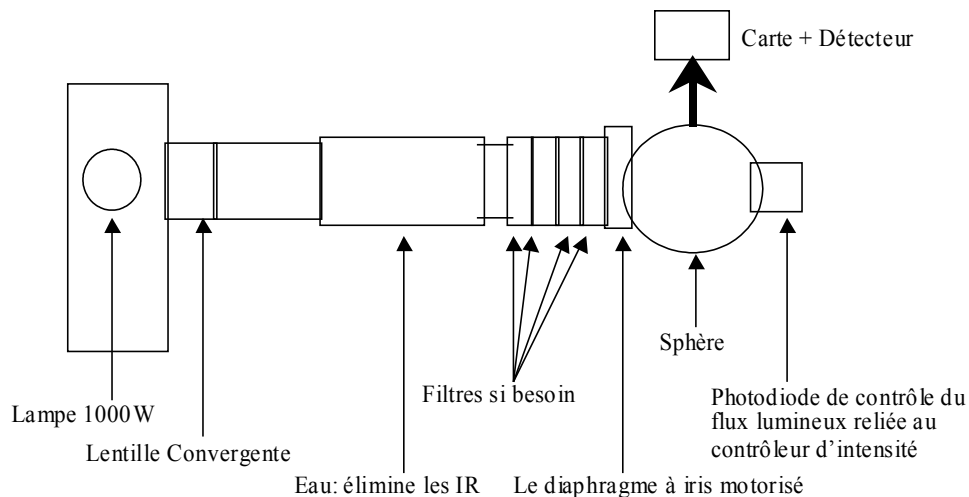


Illustration 18: Représentation du dispositif optique

L'éclairage fourni par la **lampe 1000W** vient converger avant de passer dans un filtre à eau afin d'éliminer la lumière infrarouge. On peut en plus placer des filtres dans les emplacements prévus si besoin. La lumière filtrée passe ensuite dans un diaphragme réglable puis dans la sphère intégrante qui répartie uniformément la lumière vers le détecteur placé à l'intérieur du caisson. Les appareils de contrôle du banc optique permettent de gérer l'intensité lumineuse, la stabilisation lumineuse et l'ouverture du diaphragme. Sur la photo suivante, on peut distinguer les 3 appareils contrôlant ce banc :

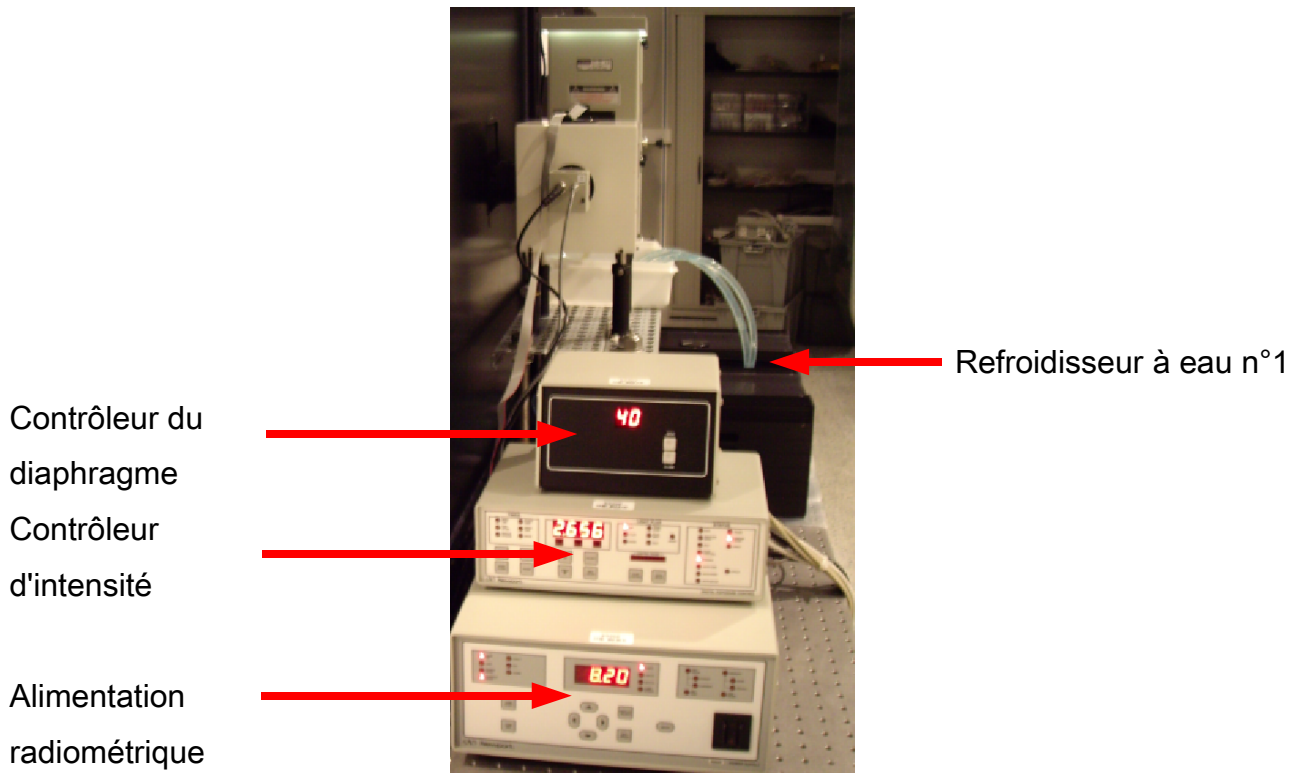


Illustration 19: Appareils de contrôle du banc optique

- Le diaphragme à iris motorisé (NEWPORT 62285) permet d'ouvrir et de fermer le diaphragme, ainsi que de contrôler visuellement sa position (l'affichage indique de 0 à la fermeture jusqu'à 99 pour l'ouverture maximale).
- Le contrôleur d'intensité lumineuse (NEWPORT 68945) recueille les informations sur le flux lumineux (traduites en μA) par le biais d'une photodiode placée au niveau de la sphère intégrante et permet la stabilisation de la source en contrôlant l'alimentation.
- Le mesureur de puissance (non présent sur la photo ci-dessus) (NEWPORT 6935-C) permet de mesurer la puissance incidente sur le capteur CCD.
- Le refroidisseur à eau (Zalman Reserator XT) fait fonctionner le système de refroidissement pour le filtre infrarouge placé après la source.
- L'alimentation radiométrique (NEWPORT 69935) fournit l'alimentation de la lampe et permet de vérifier le nombre d'heures d'utilisation actuel de la lampe.

Le filtre optique utilisé sur certains essais est un filtre 650 nm :

Melles Griot 03 FIV 022

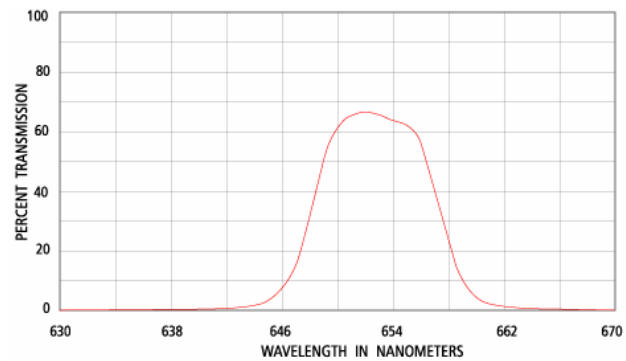
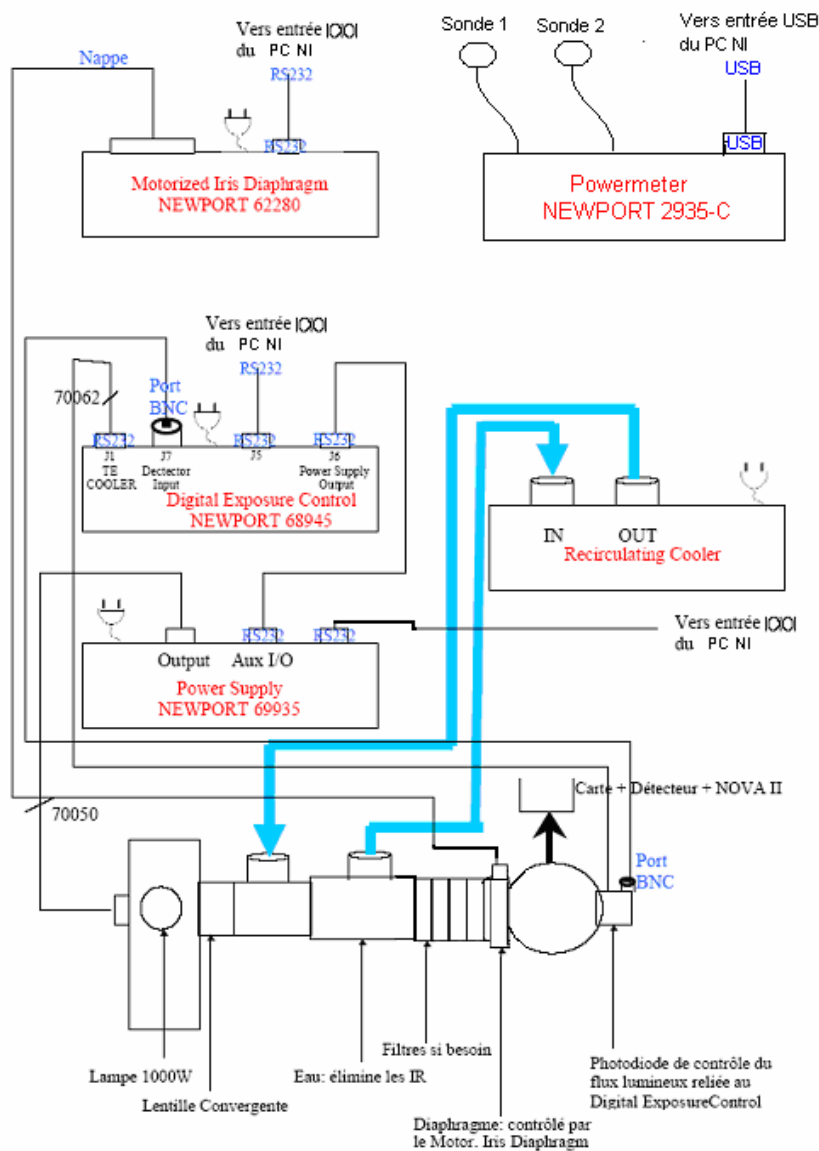
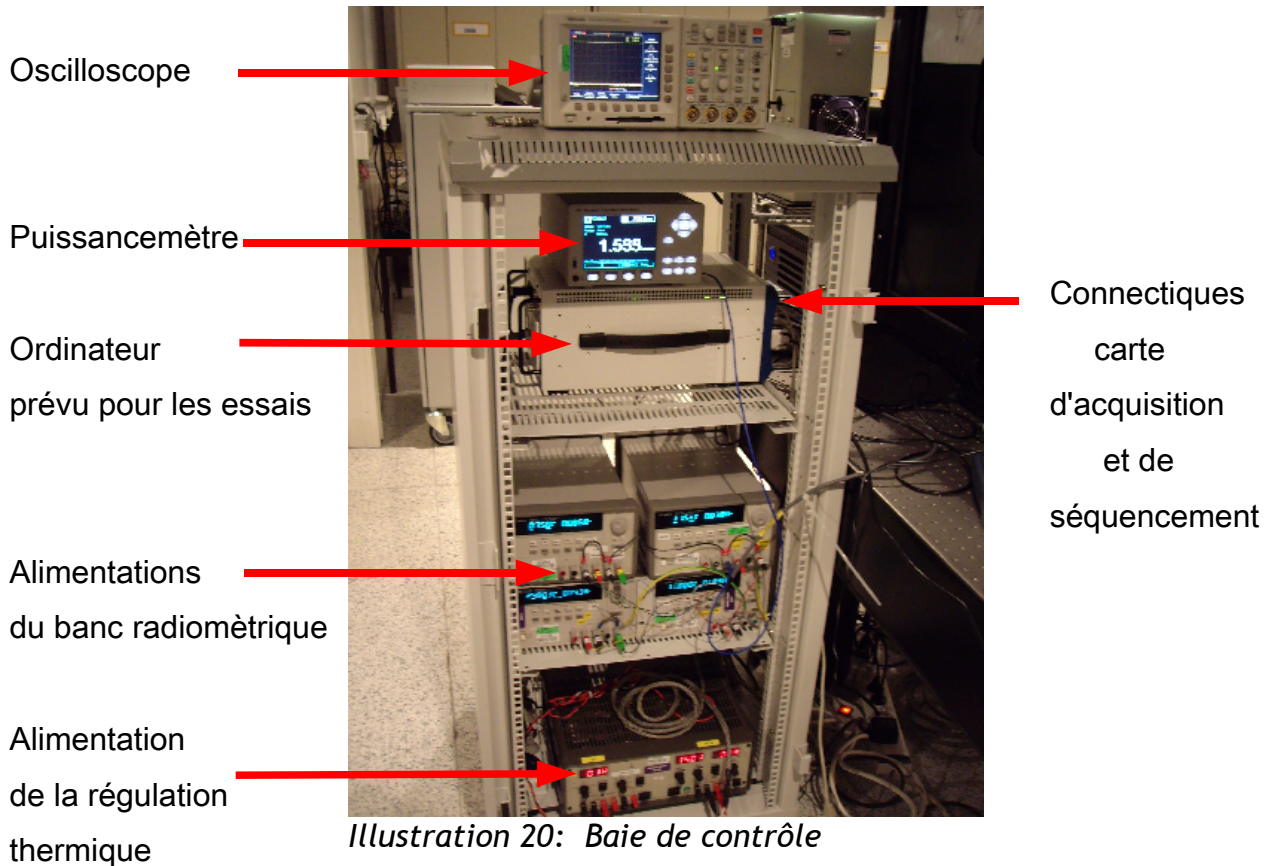


Schéma de montage :



8.1.3) La baie de contrôle



8.1.3.1) Alimentations

Designation	Function	Voltage (V)			Current (A)		
		Mini	Typical	Maxi	Mini	Typical	Maxi
V _{+7.5}	Analog amplifiers	-	7,5	-	-	0,15	-
V _{-7.5}	Analog amplifiers	-	-7,5	-	-	0,4	-
V _{SS}	Vss supply	-	24	-	-	0,2	-
V _{CCD}	CCD bias	30	35	36	-	0,1	-
V _{CLOCK}	Driver bias	-	18	19	-	0,42	-
V _{alim}	MPT5000 power supply	-	15	-	-	3	3,2

On a donc besoin de 5 alimentations différentes pour alimenter l'ensemble de la manipulation. V_{+7.5}, V_{-7.5}, V_{SS}, V_{CCD}, et V_{CLOCK} sont pilotables via liaison GPIB (General

Purpose Interface Bus) par l'ordinateur National Instrument. GPIB est un bus de communications numériques courte distance qui permet le branchement d'appareils en parallèle.

Les alimentations sont reliées via un connecteur SUBD 9 broches à la carte du détecteur :

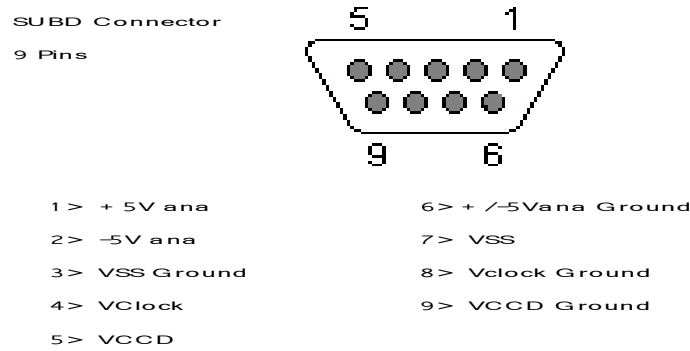


Illustration 21: Branchement des alimentations sur la carte détecteur

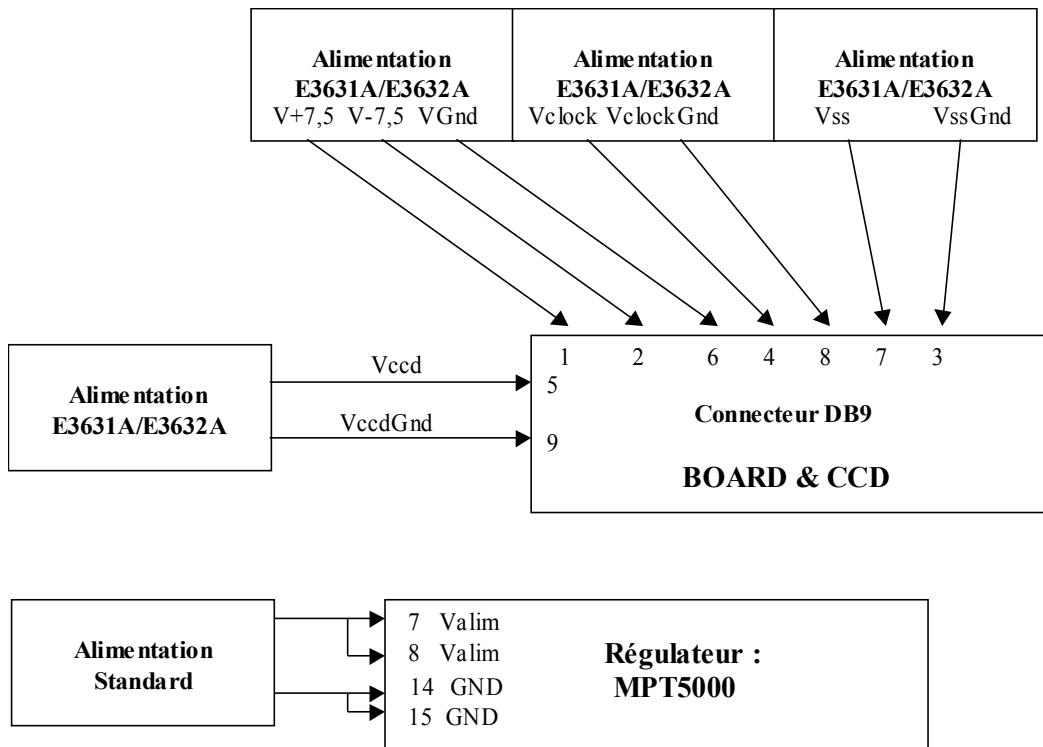


Illustration 22: Schéma de branchement des alimentations

8.1.3.2) Carte d'acquisition

La carte d'acquisition effectue l'acquisition et la conversion analogique/numérique du signal vidéo : DEC (Double Echantillonnage Corrélé) + CAN (Conversion analogique/numérique).

Carte NI PXI-5122 :



- Bande passante de 100 MHz avec filtres antirepliement et de bruit sélectionnables.
- 2 voies échantillonnées simultanément avec résolution de 14 bits.
- Temps réel 100 Méch./s, contrôlé par horloge externe (compatible TTL 0-5V).

CLK IN (Sample Clock and Reference Clock Input, Front Panel Connector)

Specification	Value	Comments
Input Voltage Range	Sine wave: 0.65 V _{pk-pk} to 2.8 V _{pk-pk} (0 dBm to 13 dBm) Square wave: 0.2 V _{pk-pk} to 2.8 V _{pk-pk}	—
Maximum Input Overload	7 V _{rms} with Peaks ≤ 10 V	—
Impedance	50 Ω	—
Coupling	AC	—

La fréquence de l'horloge externe appliquée doit être comprise entre 30 MHz et 105 MHz. La fréquence minimale que l'on peut appliquer à l'horloge est environ de 30 MHz (25 MHz fonctionne). Pour une horloge de base de période 40 ns on obtient une fréquence de

25 MHz.

On branche donc le signal de synchro pixel sur l'horloge clk in et le signal de synchro trame sur l'entrée trigger. La mesure démarre alors sur front montant de synchro trame et se continue ensuite sur chaque front montant de l'horloge clk in.

Un signal vidéo pleine dynamique est de 700 mV pour le capteur CCD, la résolution est donc de 43 uV. Si l'on se place à la tension maximum de saturation 2V, on a une résolution de 122 uV.

8.1.3.3) Carte de séquençement

La carte doit permettre de générer les horloges qui pilotent le détecteur et doit aussi générer un signal d'horloge qui servira d'horloge externe à la carte numériseur (La précision nécessaire est de l'ordre de 5 ns).

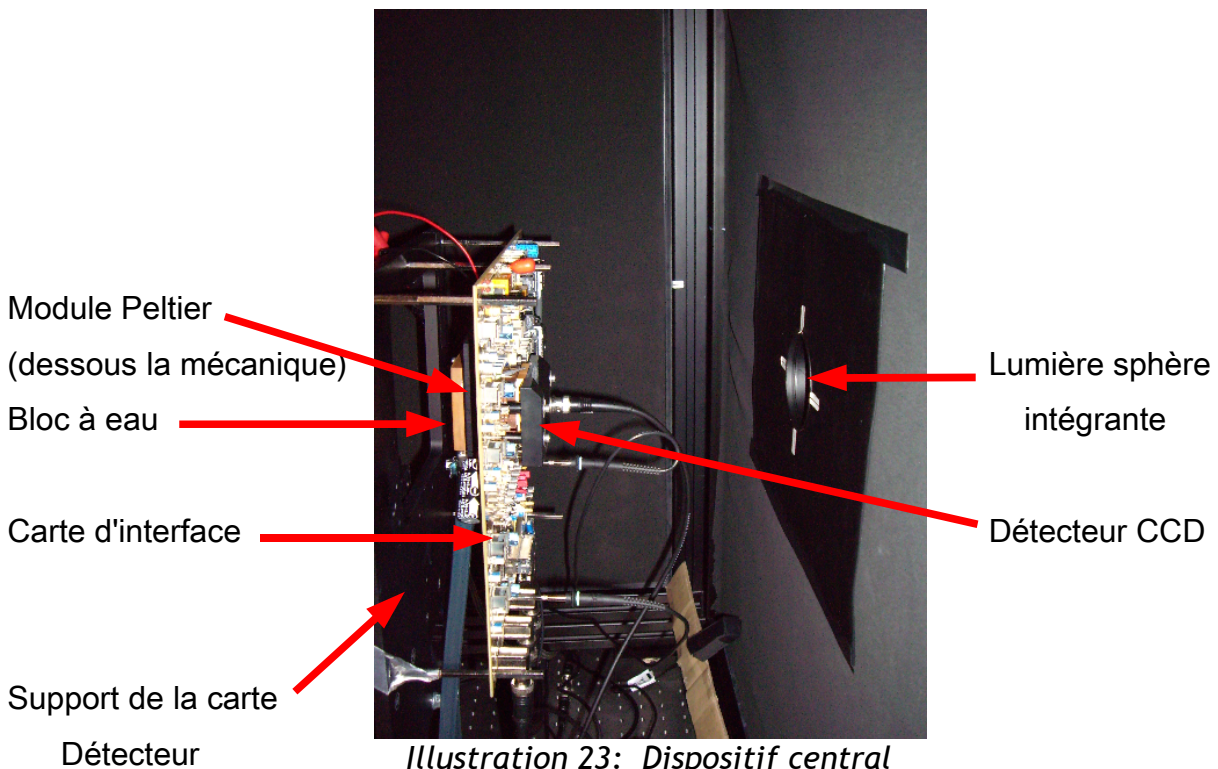
Carte NI PXI-6562 :



- Signal LVDS (Low Voltage Differential Signaling : Offset=1,220V et Vdiff=305mV).
- Matériel NI SMC (Synchronization and Memory Core).
- 16 voies.
- Fréquence d'horloge de 200 MHz maximum.

La carte de génération des horloges peut générer des horloges par pas de 2,5 ns étant donné que la fréquence d'horloge interne de la carte est de 400 Mhz. Elle est directement reliée à la carte d'interface CCD ou carte détecteur.

8.1.4) Le dispositif central



*Illustration 23: Dispositif central
(carte + détecteur + régulation)*

(Voir annexe 6 : « Schéma de câblage du banc radiométrique »).

8.1.4.1) Le support

Il permet de déplacer le système carte + détecteur de 10 cm ou bien d'effectuer plusieurs types de rotations. Le système est important puisque le capteur CCD doit être parfaitement aligné avec la lumière incidente.

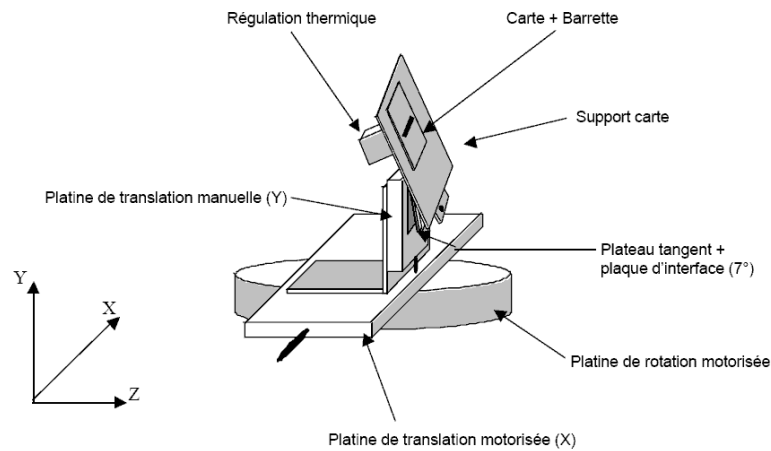


Illustration 24: Support carte

8.1.4.2) Carte détecteur

La carte ARL002 est une carte d'évaluation pour le CCD55-20. Elle fournit au CCD les alimentations, polarisations et horloges nécessaires à son fonctionnement. Les niveaux de ces signaux sont ajustables sur la carte dans les fourchettes spécifiées, ainsi que les temps de montée et descente des horloges. Les thermistances intégrées au CCD sont accessibles par un connecteur d'interface. 3 horloges supplémentaires transitent par ARL002, où elles sont uniquement converties du standard LVDS vers 3 liaisons coaxiales. Le signal vidéo en sortie du CCD est amplifié pour piloter deux liaisons coaxiales 50 Ohm. Les gains en tension respectifs sont 1 et 5. Des horloges et des alimentations sont disponibles pour piloter une carte simulant le FPA (Focal Plane Assembly). Cette carte viendrait s'insérer dans les barrettes support du CCD présentes sur ARL002.

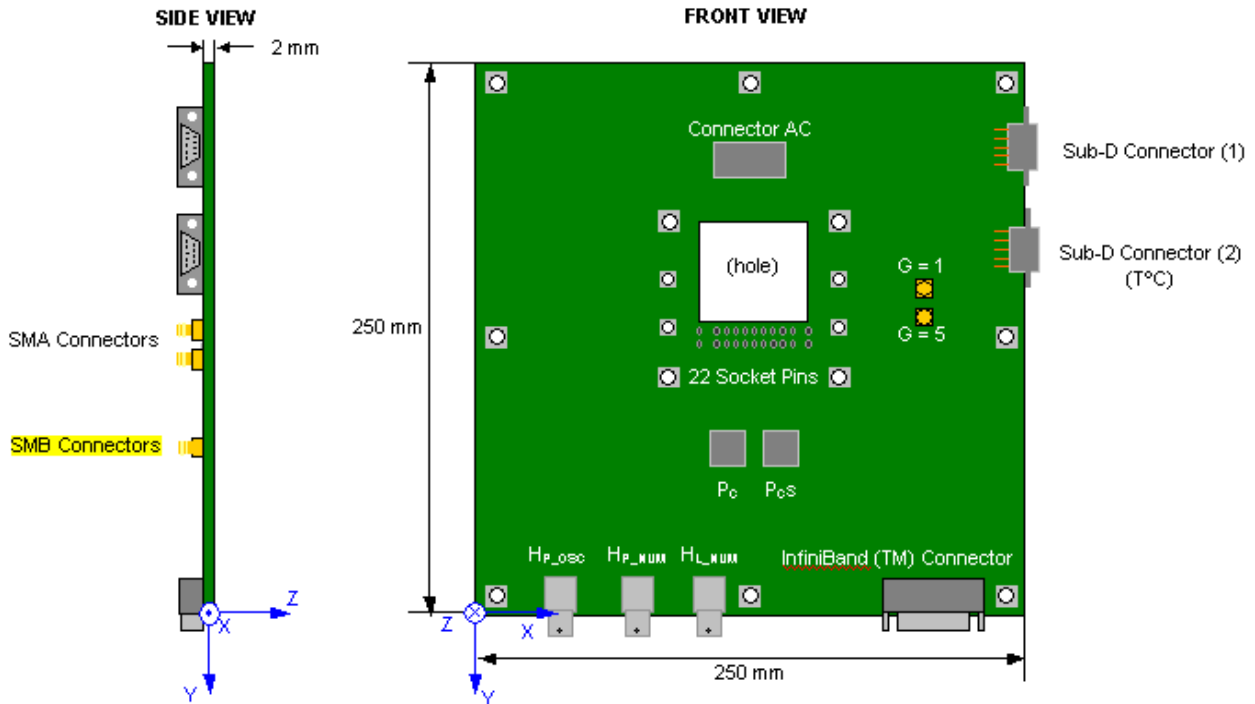


Illustration 25: Vue mécanique de la carte interface

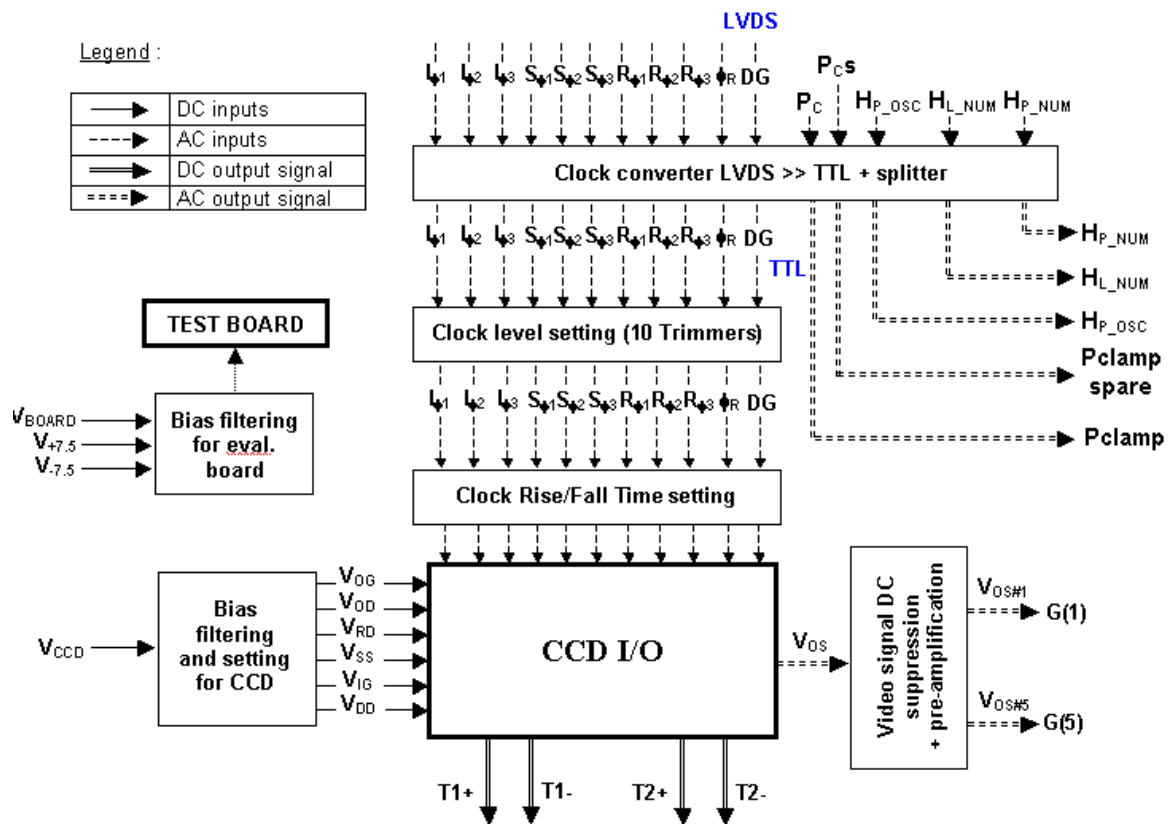


Illustration 26: Schéma bloc de la carte

8.1.4.3) La régulation thermique

La régulation en température est basée sur le composant MPT-5000 qui permet de contrôler le refroidissement du module Peltier en fonction de la température du capteur CCD et de la température désirée. Ce composant à l'avantage de fonctionner indépendamment de l'ordinateur.

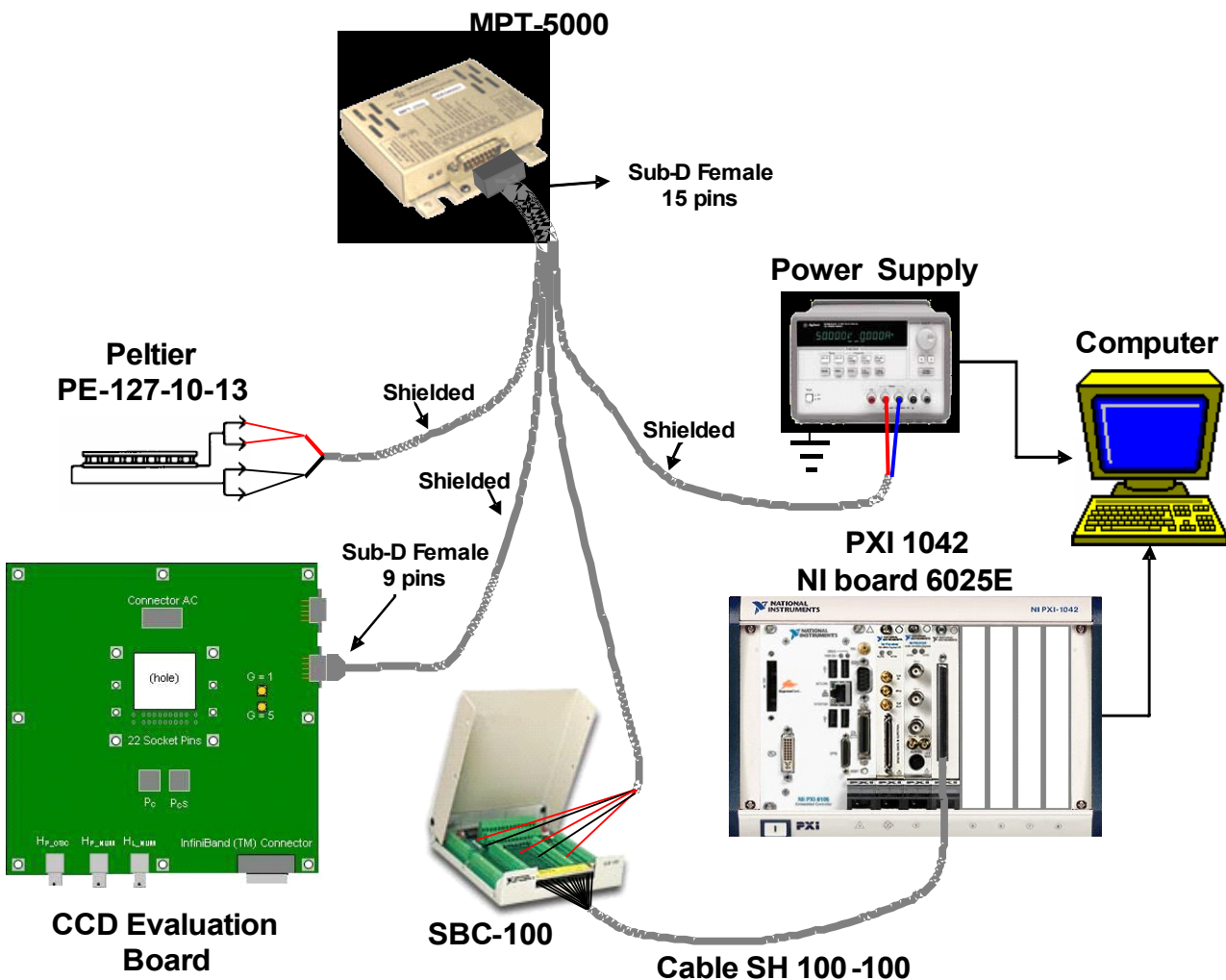


Illustration 27: Schéma de câblage de la régulation en température

(Voir annexe 7 : Schéma de connexion pin à pin).

Le module Peltier est un module qui comporte deux faces : une face chaude et une face froide (en fonctionnement). Son principe de fonctionnement est basé sur le

phénomène de déplacement de chaleur lorsqu'on lui injecte un courant. Le régulateur que l'on utilise injecte un courant dans celui ci afin d'obtenir la température désirée en fonction de l'information de température renvoyée par notre capteur. L'effet Peltier du module permet alors de refroidir une jonction pendant que l'autre se réchauffe (à cause du fait que dans le Peltier, deux matériaux de nature différente sont liés par des jonctions).

En détail :

- Absorption de chaleur sur une jonction : les électrons ou les trous gagnent de l'entropie en passant du matériau 1 au matériau 2 à l'intérieur du module.
- Libération de chaleur sur l'autre jonction : ils perdent de l'entropie en passant du matériau 2 au 1.

Le boîtier SCB-100 est un boîtier de raccordement entre le module MPT-5000 et l'ordinateur, un programme peut alors contrôler la régulation en température.

La carte NI 6025E :



Entrée analogique : $16 \cdot 200 \text{ kéch./s} \cdot 12 \text{ bits}$

Sortie analogique : $2 \cdot 10 \text{ kéch./s} \cdot 12 \text{ bits}$

Le système de refroidissement :

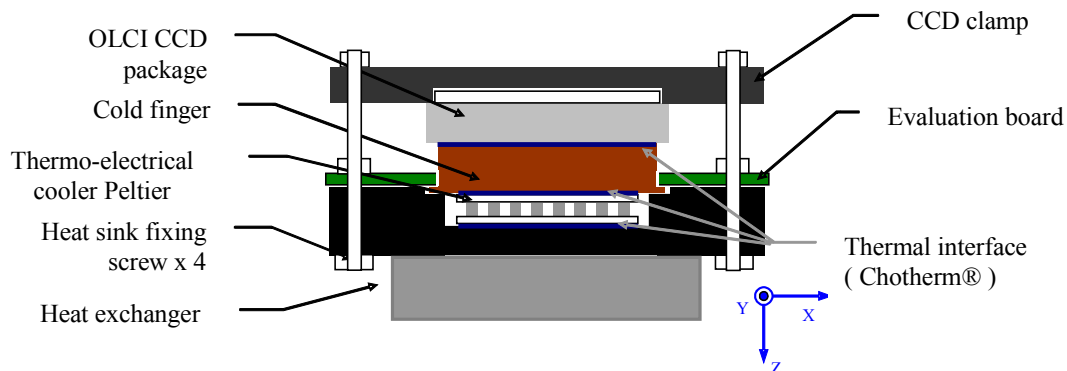


Illustration 28: Vue du système de refroidissement

Voici la figure concernant la mécanique de refroidissement du détecteur. Elle se compose d'un doigt froid, d'un module Peltier, de couches isolantes Chothem, de la mécanique du montage et d'un bloc à eau.

Spécifications du Peltier PE-127-10-13 pour $dT = 71^{\circ}\text{C}$:

$I_{\text{max}} : 3,9 \text{ A}$ / $U_{\text{max}} : 15,4 \text{ V}$ / $P_{\text{cmax}} : 37,9 \text{ W}$ (puissance de refroidissement)

Les différentes couches contribuent au refroidissement grâce au principe de conduction thermique :

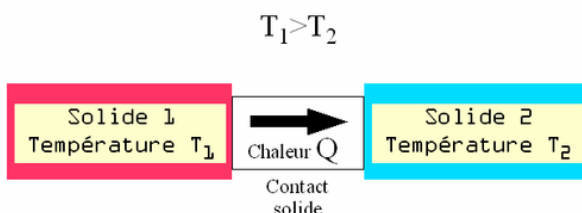


Illustration 29: Conduction thermique entre deux couches

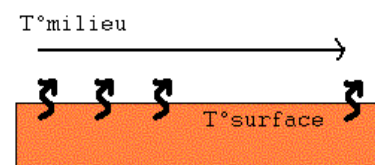


Illustration 30: Convection thermique

Au total, on a 9 températures différentes sur les interfaces des couches puisqu'il y a 8 couches avec des matériaux différents. Les résistances thermiques de chacune des couches contribuent à l'abaissement de la température. On notera tout de même que c'est essentiellement le module Peltier qui contribue à la régulation précise en température.

Le module à eau est présent seulement pour dissiper les calories de la face chaude du module Peltier. Il fonctionne selon le principe de la convection thermique.

8.1.5) Les câblages

La section des conducteurs électriques est déterminée par l'intensité du courant qui les traverse. En effet, La chute de tension dans les conducteurs (U_{cd}) est proportionnelle à l'intensité du courant (I) et à la résistance électrique des conducteurs (R) : $U_{cd} = R \times I$, avec U en volts (V), R en ohms (Ω) et I en ampères (A).

Donc, lorsque la tension d'alimentation est faible, la section des conducteurs doit tenir compte de la chute de tension dans ceux-ci (chute de tension en ligne). Comme la résistance des conducteurs est proportionnelle à leur longueur et inversement proportionnelle à leur section, plus le courant est élevé, plus les conducteurs sont longs, plus la section des conducteurs doit être importante.

On utilise la formule : $R = \rho \times L / S$ pour calculer la résistance du câble utilisé et connaître ensuite la chute de tension.

On a $\rho = 0,017\Omega \cdot mm^2 / m$ pour le cuivre, $L = 0,5$ m et $S = 1$ mm² par défaut.

D'où $R = 8,5$ m Ω , c'est à dire une chute de tension négligeable pour des courants < 6 A.

Dans le cas de la régulation thermique :

- Entre la carte NI 6025E et le connecteur SCB100 : câble SH 100-100 standard.
- Entre le connecteur SCB100 et le connecteur DB15 : câble classique de section 0,5 - 1mm².
- Entre la carte CCD et le connecteur DB15 : câble classique blindé pour thermistance de section 0,5 - 1 mm² avec un connecteur DB9 femelle pour se connecter a la carte CCD.
- Entre le connecteur DB15 et le source d'alimentation : câble classique blindé (section ~ 1 mm²).
- Entre le régulateur MPT5000 et le dissipateur à effet Peltier : câble classique de section ~ 1 mm² (3A -> $U_{cd} = 25$ mV).

8.2) Logiciel

Mis à part l'étude du matériel, le montage et câblage des manipulations, et les tests du matériel, la majeure partie de mon stage a été consacrée à l'élaboration de logiciels afin que les diverses parties composants l'essai soient entièrement pilotables.

Le système utilisé pour le développement est le système LabView (**L**aboratory **V**irtual **I**nstrumentation **E**ngineering **W**orkbench) , c'est un logiciel de développement de la société National Instrument. Créé en 1986, ce logiciel est dédié à la commande et à la mesure à partir d'un ordinateur. Il se veut facile d'utilisation par son mode de programmation graphique et sa gestion par flux de données, mais il se veut aussi robuste de part ses bibliothèques de fonctions étendues et de fonctions spécifiques comme l'acquisition de données et le pilotage d'instruments.

Le principe utilisé pour développer un logiciel est le suivant :

- Spécifications du besoin utilisateur (réunion de début).
- Création d'un algorithme représentant le fonctionnement général du programme.
- Analyse des spécificités.
- Développement du logiciel (+ tests ponctuels).
- Présentation du résultat et tests (réunion de fin).

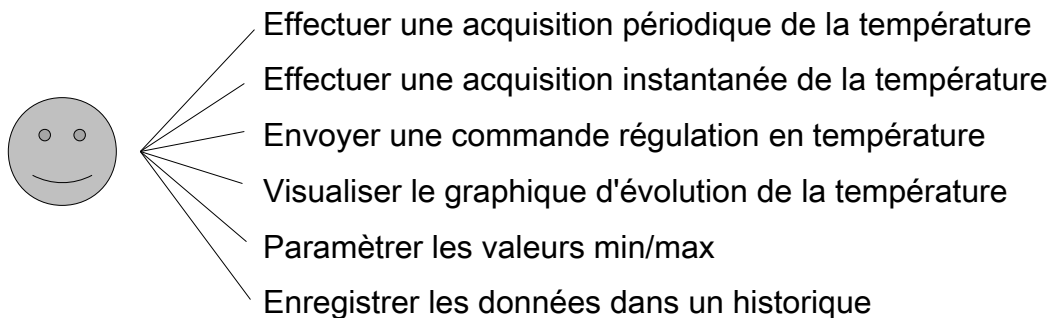
Pour le projet, j'ai développé et aidé au développement des logiciels afin de réaliser les essais automatiquement. Au total, 8 logiciels sont nécessaires :

- La régulation thermique
- La gestion des alimentations
- Le pilotage du banc optique
- Le pilotage du puissance-mètre
- Le séquençage des horloges
- L'acquisition vidéo
- La reconstruction de palier
- La mesure de linéarité

8.2.1) La régulation thermique

Le programme de régulation à pour but de contrôler la température du capteur CCD et de commander la valeur désirée.

8.2.1.1) Cas d'usages



8.2.1.2) Analyse

Le régulateur MPT-5000 peut être réglé au niveau de la température désirée (0-5V) et au niveau du gain (1-50). On l'alimente en 15V et 3A et on peut piloter la tension amenant à la température désirée via la carte NI 6025E.

La thermistance du capteur CCD fournit une valeur de résistance en fonction de la température.

Température	-40°C	-22,5°C	0°C	25°C	50°C	70°C	100°C	125°C
Résistance (Ohm)	100701	29092	9795	3000	1080	525	204	102
Tolérance (+ ou -)	-	2%	1,5%	1%	2%	3%	5%	-

Le module de régulation délivre une tension proportionnelle afin de contrôler la température. De même, la carte NI délivre une tension jusqu'au régulateur afin de faire varier la température (grâce à l'envoi de plus ou moins de courant au Peltier). Etant donné que le calibre du régulateur a été fixé à 100 uA, on peut déduire la tension correspondante

à chaque valeur de résistance. On utilise une interpolation afin d'effectuer les conversions température->résistance mais étant donné le peu de points caractéristiques, cette conversion représente une erreur (0,4°C pour 17°C) dans la plage de mesure.

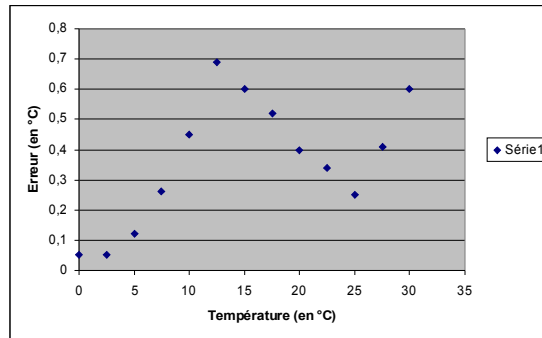


Illustration 31: Erreur de conversion

La figure suivante montre qu'il faut 10 minutes avant que la température soit stable :

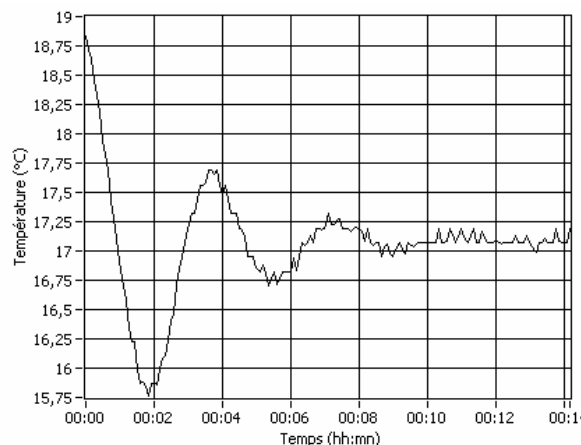


Illustration 32: Evolution de la température

Il est important d'attendre cette durée puisque la température doit être de 17°C à plus ou moins 1°C. Lors des essais, on a de surcroît remarqué que le signal vidéo à l'obscurité variait de quelques mV lorsque l'on se plaçait à 15°C ou à 20°C, d'où l'importance d'une régulation optimale.

Régulateur MPT5000 :

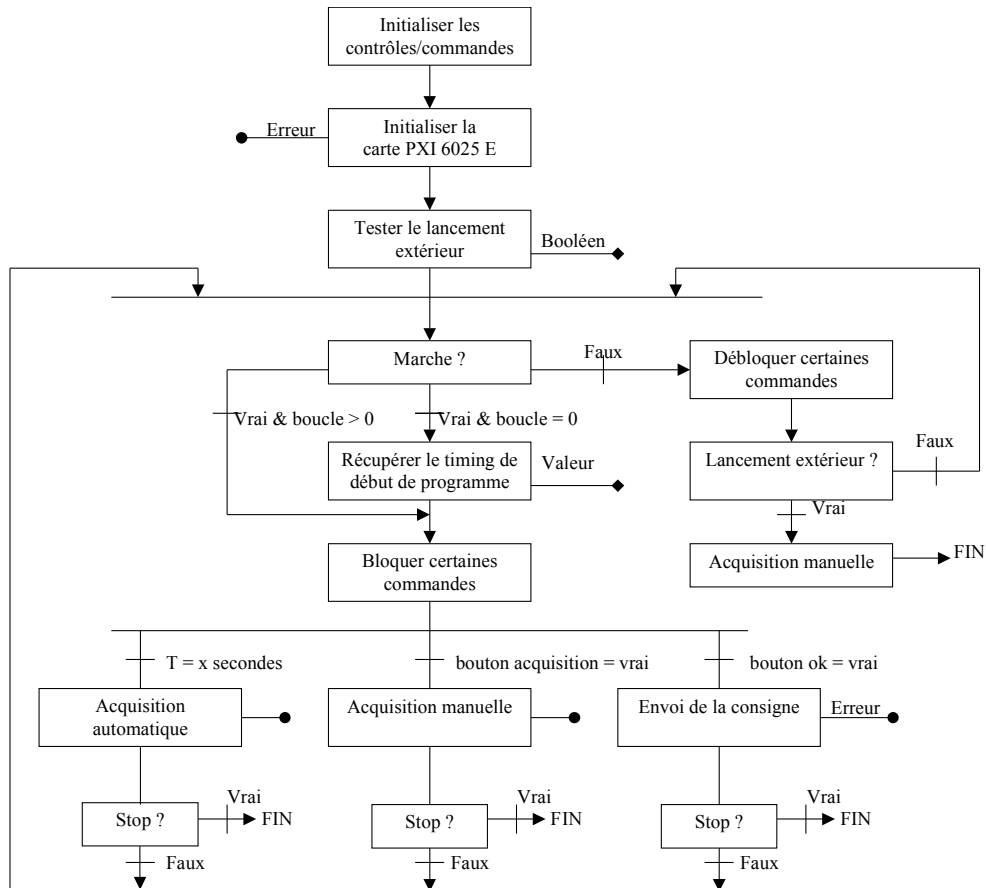
Stabilité longue durée < 0.01 °C

Réglage du type de capteur : Thermistance (Position 2)

Réglage du courant de référence : 100 µA (Position 4)

Réglage du courant max sur le régulateur -> 3 A (Position 3) (protection du Peltier)

8.2.1.3) Algorithmme



8.2.1.4) Description

La liste suivante représente le détail des fonctions principales :

Acquisition automatique :

- R/W = Vrai
- Acquisition
- R/W = Faux
- Conversion
- Calcul de tolérance
- Test sur la gamme
- Enregistrement

- Exploitation graphique

Acquisition manuelle :

- Blocage consigne
- Conversion
- R/W = Vrai
- Envoi
- R/W = Faux
- Déblocage consigne

Envoi de la consigne :

- R/W = Vrai
- Acquisition
- R/W = Faux
- Conversion
- Calcul de tolérance

Présentation de la face avant :

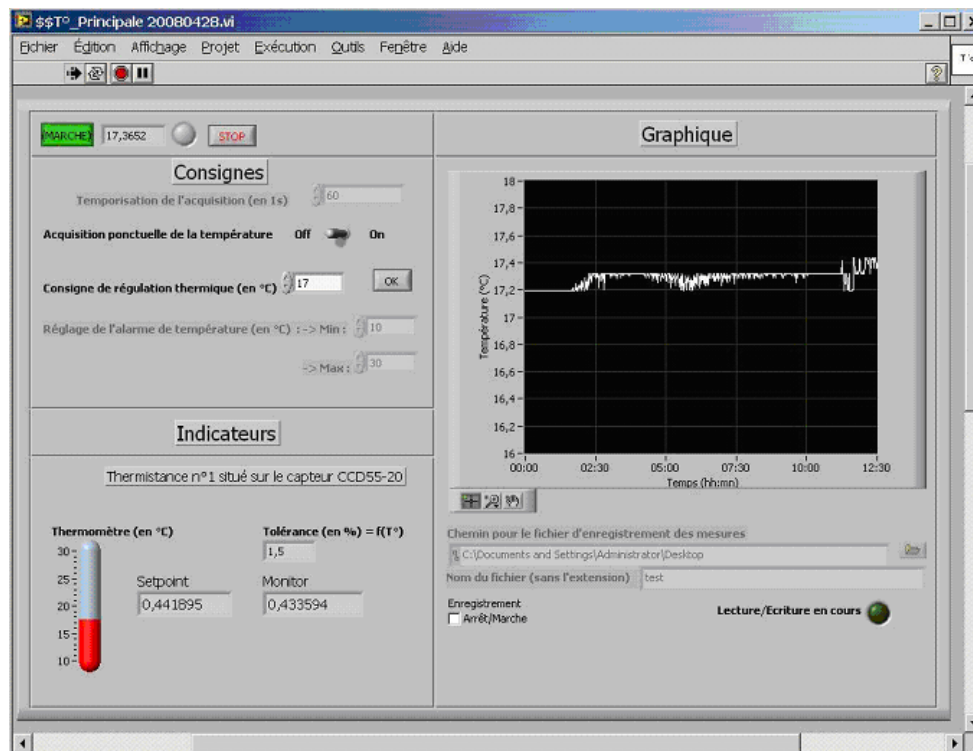


Illustration 33: Logiciel de régulation en T°

Le programme s'exécute de la façon suivante :

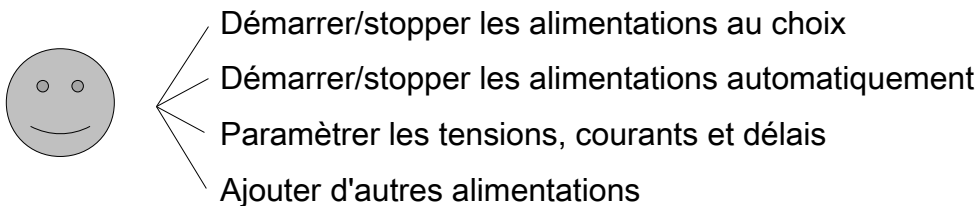
- L'utilisateur lance le programme
- Il choisit d'envoyer ou non la consigne de régulation de démarrage
- Il rentre les valeurs désirées

- Il clique sur le bouton MARCHE/ARRÊT pour lancer la mesure automatique
- Il peut en parallèle effectuer un envoi de consigne ou une acquisition manuelle
- L'utilisateur doit vérifier alors ses contrôles lorsqu'il juge bon de terminer la mesure
- Pour terminer la mesure, l'utilisateur clique de nouveau sur le bouton MARCHE/ARRÊT
- Pour terminer le programme, l'utilisateur clique sur STOP

8.2.2) La gestion des alimentations

La gestion des alimentations permet de gérer la mise en marche ou l'arrêt des alimentations du capteur CCD.

8.2.2.1) *Cas d'usages*



8.2.2.2) *Analyse*

Présentation des alimentations du banc radiométrique (dispositif central + contrôle) :

Alimentation E3631A :

Alimentation de la marque Agilent commandable par GPIB.

- Gamme 1: 0 à 6 V, 0 à 5 A
- Gamme 2: 0 à +25 V, 0 à 1 A
- Gamme 3: 0 à -25 V, 0 à 1 A

Alimentation E3632A :

Alimentation de la marque Agilent ou HP commandable par GPIB.

- Gamme 1: 0 à 15 V, 0 à 7 A
- Gamme 2: 0 à 30 V, 0 à 4 A

Présentation de la configuration :

Un fichier ini permet de configurer les différentes alimentations, ce qui rend le programme dynamique puisqu'il peut fonctionner avec n'importe quelle alimentation par la suite. Pour modifier une valeur par défaut de tension ou de courant, il faut modifier le fichier.

Exemple dans le fichier ini pour l'alimentation Agilent E3632A :

```
[Section Appareil 0]
```

```
Nom=GPIB1::3::INSTR
```

```
Rang1=VOLT:RANG P30V
```

```
Rang2=VOLT:RANG P15V
```

```
On=OUTP ON
```

```
Off=OUTP OFF
```

```
Tension=VOLT
```

```
Courant=CURR
```

```
Mesure1=MEAS:VOLT?
```

```
Mesure2=MEAS:CURR?
```

```
[Section Alim 0]
```

```
Nom=+7.5/-7.5
```

```
Appareil=Appareil 0
```

```
Tension=7.5
```

```
Courant=0.150
```

```
Courant2=0.400
```

```
Delais=1
```

(Tension (en V), Courant (en A), et Délais (en s)).

8.2.2.3) Description

Présentation de la face avant :

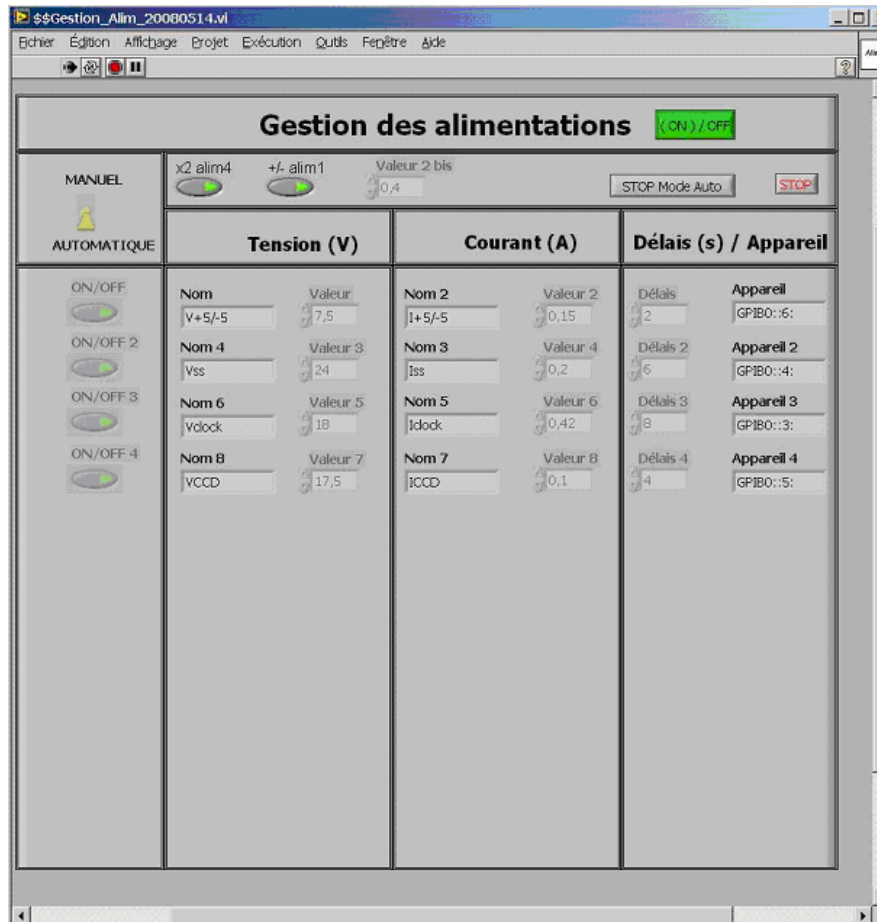


Illustration 34: Logiciel de gestion des alimentations

Le programme s'exécute de la façon suivante :

- L'utilisateur lance le programme
- Il rentre les valeurs désirées
- Il choisit le mode manuel ou le mode automatique
- Il clique sur le bouton MARCHE/ARRÊT pour démarrer le mode
- En mode manuel :
 - Il clique sur un bouton on/off pour démarrer une alimentation
 - Il clique sur le même bouton on/off pour éteindre cette alimentation
- En mode automatique :
 - L'utilisateur n'effectue aucune action, les alimentations démarrent seules.
 - Pour arrêter les alimentations, il faut cliquer sur le bouton stop mode auto et attendre la désactivation de celles ci.
- Pour terminer la mise en route des alimentations, l'utilisateur clique de nouveau sur le bouton MARCHE/ARRÊT et lorsqu'il vient du mode automatique, il attend 3 secondes que le bouton Stop

mode auto revienne à la valeur fausse.

- Il peut ensuite redémarrer les alimentations en mode manuel ou automatique
- Pour terminer le programme, l'utilisateur clique sur STOP

Remarque : On peut lancer le programme, démarrer les alimentations, fermer le programme, l'ouvrir de nouveau, stopper les alimentations et quitter définitivement le programme.

Remarque 2 : Pour visualiser la consommation sur les alimentations, il suffit de cliquer sur le bouton Local en façade de chacune.

8.2.3) Le pilotage du banc optique

Le programme de pilotage du banc optique permet de gérer les différents appareils qui composent le banc

8.2.3.1) Cas d'usages



- Démarrer le logiciel en mode automatique ou manuel
- Démarrer/stopper la lampe de la source
- Vérifier/Redémarrer le nombre d'heures d'utilisation de la lampe
- Vérifier la puissance/l'intensité
- Gérer l'ouverture du diaphragme
- Réguler/lire la valeur du flux

8.2.3.2) Analyse

Les 3 appareils de contrôle du banc optique sont reliés à l'ordinateur via des câbles RS232 (9 broches). L'ordinateur n'étant pas équipé de 3 ports série, on branche sur celui-ci un convertisseur USB -> 4 ports série qui fonctionne très bien.

Le contrôleur de flux est un appareil directement relié à l'alimentation de la source optique, ainsi il permet de stabiliser la lumière en diminuant ou augmentant l'intensité.

8.2.3.3) Description

Présentation de la face avant :

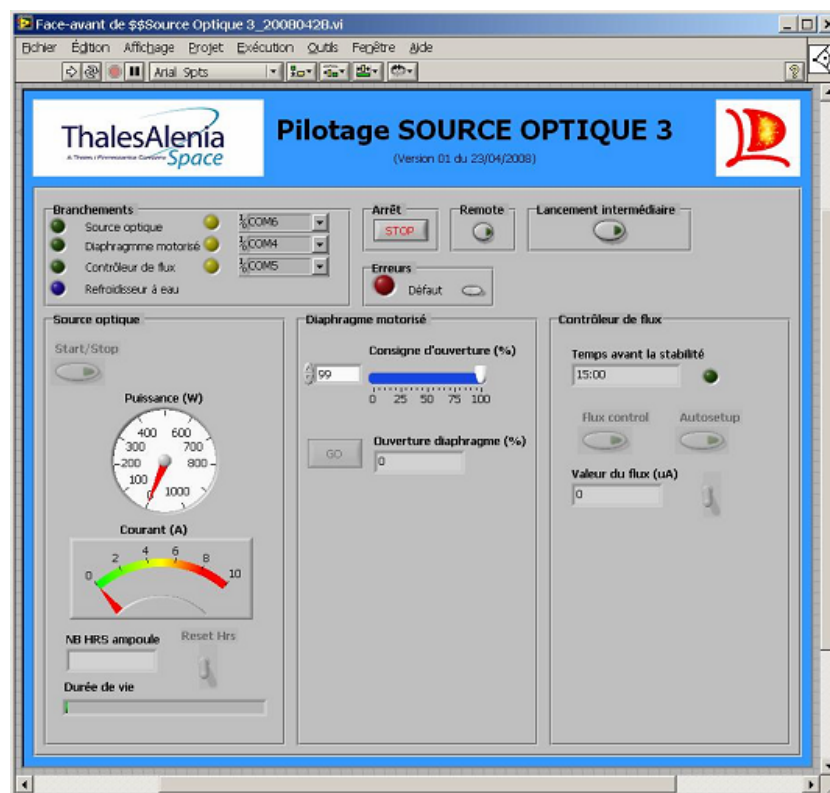


Illustration 35: Logiciel du banc optique

Le programme s'exécute de la façon suivante :

- L'utilisateur le lance
- Il clique sur «Démarrage» ou «Démarrage bis» selon si l'on fait un démarrage respectivement avec ou sans le contrôleur de flux allumé.
- Il attend que le matériel soit reconnu et peut suivre les messages d'avertissement au cas où un des

appareils serait débranché.

Les actions suivantes sont ensuite indépendantes les unes des autres :

- Il peut cliquer sur le bouton start/stop afin de démarrer l'éclairage de la lampe.
- Il peut de nouveau cliquer sur le bouton start/stop afin d'arrêter l'éclairage de la lampe.
- Il peut remettre à zéro le nombre d'heures de la lampe via un bouton.
- Il peut modifier la valeur d'ouverture de l'iris et appuyer sur le bouton OK.
- Il peut démarrer la fonction flux control à tout moment, l'indicateur de stabilité étant seulement là à titre d'information.
- Il peut faire une acquisition du flux.
- Il peut aussi faire un autoseup (utile pour augmenter la précision sur une plage de mesure).

Pour terminer le programme, l'utilisateur clique sur STOP.

Attention si la lampe est allumée, elle restera allumée, et il en est de même pour les autres fonctions.

Ce logiciel peut aussi être utilisé en mode automatique par une activation extérieure, les actions principales réalisées en série dans ce cas sont celles de l'autoseup, du flux control et des mesures. Dans le cas d'un problème d'autoseup, un bip fort est émis, il faut attendre la correction de cette erreur par le programme après l'appui sur OK lors du message d'erreur sauf dans le cas d'un bip continu supérieur à 15s où dans ce cas, il faut éteindre l'appareil puis le rallumer.

8.2.4) Le pilotage du puissance-mètre

Ce programme est destiné à l'acquisition des valeurs de puissance des sondes optiques, il est ponctuellement utilisé seul mais il est généralement utilisé en tant que sous programme dans le logiciel de linéarité.

8.2.4.1) Cas d'usages



- Mesurer la puissance incidente au détecteur avec les sondes n°1, n°2 et Nova II
- Effectuer une moyenne sur 200 valeurs (modifiable)

Modifier les paramètres de liaison de l'appareil puissance-mètre

8.2.4.2) Analyse

Le programme permet en fait de mesurer la puissance lumineuse que reçoit le détecteur grâce à deux têtes optiques d'origine plus celle de l'appareil Ophir Nova II (3 mesures). Son utilisation est automatique dans le programme de linéarité, l'utilisateur n'a pas de configuration à faire. Il doit juste s'assurer que l'appareil 2935C ainsi que le Nova II sont tous les deux allumés et connectés.

La temporisation entre chaque acquisition est de 10 ms entre READ et WRITE. De même, une temporisation de protection (40 ms) est placée entre chaque WRITE et READ. Le temps total d'exécution du programme Powermeter est de 10s pour un moyennage sur 200 valeurs. Un algorithme de suppression des données erronées a été prévu à cet effet pour plus de stabilité.

8.2.4.3) Description

Présentation de la face avant :

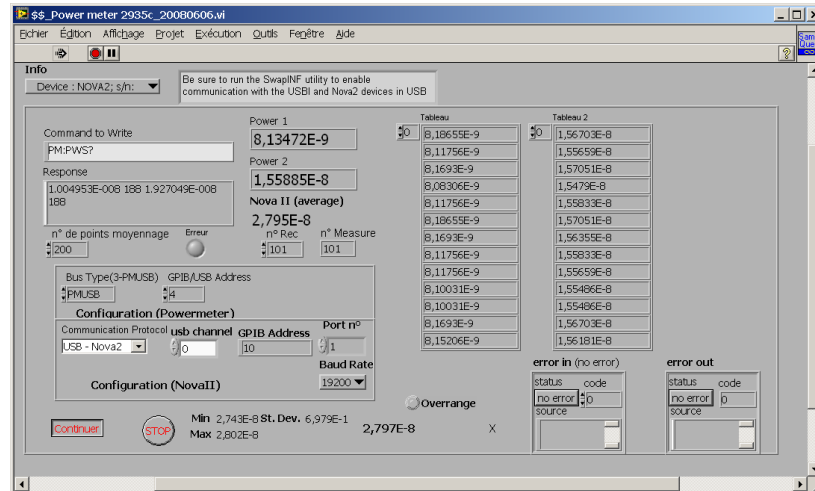


Illustration 36: Logiciel Powermeter

Le programme s'exécute de la façon suivante :

- L'utilisateur peut modifier les paramètres de l'appareil
- Il lance le programme
- Il attend 10s et observe les valeurs moyennées de chaque sonde

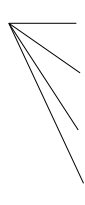
8.2.5) Le séquençement des horloges

Ce programme est utilisé pour contrôler les horloges de la carte d'interface. Ces horloges ont pour but de piloter le capteur CCD.

8.2.5.1) *Cas d'usages*



- Modifier les horloges générées par la carte
- Modifier le script de fonctionnement du CCD

- 
- Modifier les paramètres matériel
 - Charger/sauver la configuration dans un fichier
 - Visualiser les horloges
 - Stopper la carte de séquençement

8.2.5.2) Analyse

Le script du programme permet de générer les différentes phases de fonctionnement du capteur CCD.

Par défaut, on a :

- 576 Frame Transfert
- 586 x (1 Move without Dump + 407 Readout)
- 576 Frame Transfert
- 576 Move with Dump
- 47 Dump
- 576 Frame Transfert
- 576 Move with Dump
- 47 Dump
- 19047 Idle (Temps total d'une image – Temps total actions de séquençement = Temps d'attente.
Temps d'attente / Temps d'une attente = nombre d'attente).

La chronométrie : Elle permet de générer les chronogrammes de chaque horloge pour chacune des phases de fonctionnement. Pour paramétrer une horloge, il faut la sélectionner dans le pattern adéquat puis remplir les paramètres du signal.

Chaque pas est de 5ns dans le programme.

8.2.5.3) Description

Présentation de la face avant :



Illustration 37: Logiciel de séquençement

Le programme s'exécute de la façon suivante :

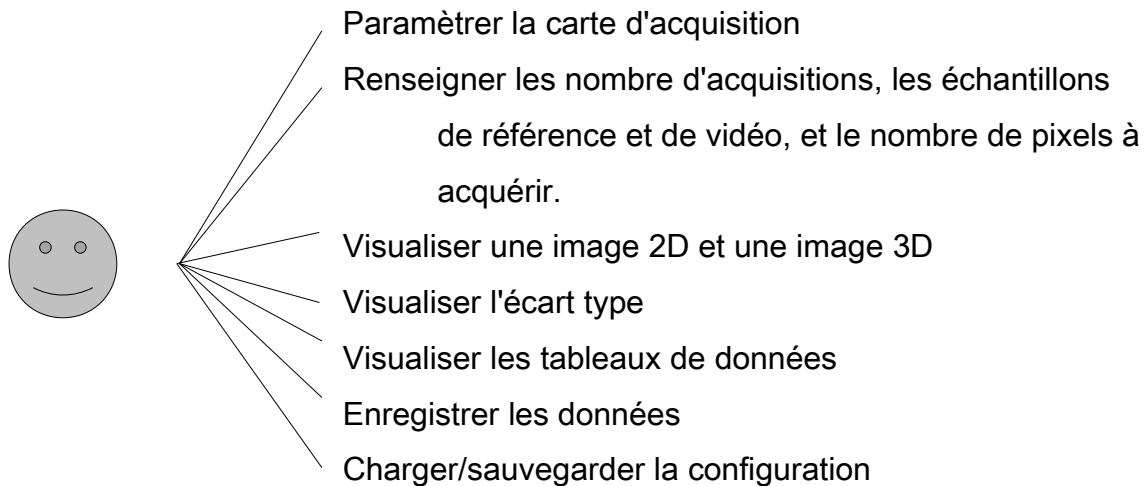
- L'utilisateur démarre les alimentations pour alimenter tous les systèmes.
- Il démarre ensuite le programme de séquençement
- Il renseigne les champs des paramètres, du script et de la chronométrie ou bien on charge le fichier de configuration.
- Il peut visualiser le résultat escompté du script et aussi celui de la chronométrie.
- Il clique ensuite sur Envoi afin d'envoyer la séquence correspondante à nos paramètres.
- Il attend la fin (barre bleu arrivé au bout).
- Il peut alors vérifier les horloges de la carte directement à l'oscilloscope.
- Dans l'onglet Sauvegarde, il peut charger ou sauvegarder le fichier de configuration du séquençement.

Pour terminer le programme, l'utilisateur clique sur STOP.

8.2.6) L'acquisition vidéo

Le programme d'acquisition vidéo est utilisé pour acquérir un certain nombre d'échantillons du signal vidéo câblé en entrée de la carte d'acquisition.

8.2.6.1) Cas d'usages



8.2.6.2) Analyse

L'acquisition permet d'obtenir les amplitudes (en mV) des différents échantillons (dont le palier de référence et le palier vidéo pour chaque pixel).

Le résultat obtenu est moyenné 100 fois (100 acquisitions) par défaut. Le début de la mesure est synchronisé au signal trigger synchro trame.

La figure suivante montre une image 3D que l'on obtient avec le logiciel à la limite de saturation du capteur :

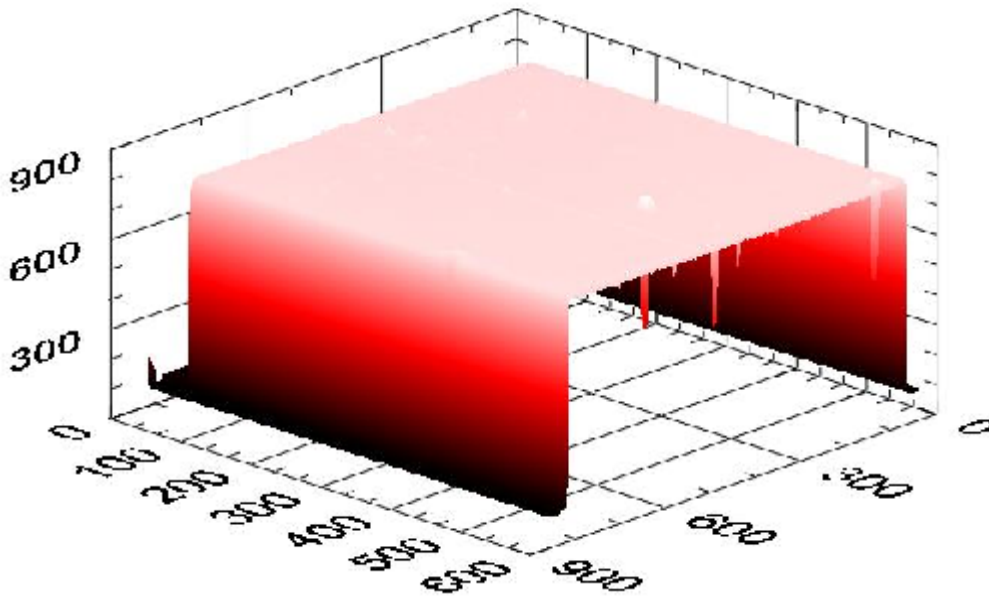


Illustration 38: Signal vidéo avant saturation (axe X/Y : lignes/pixels et axe Z : mV)

8.2.6.3) Description

Présentation de la face avant :

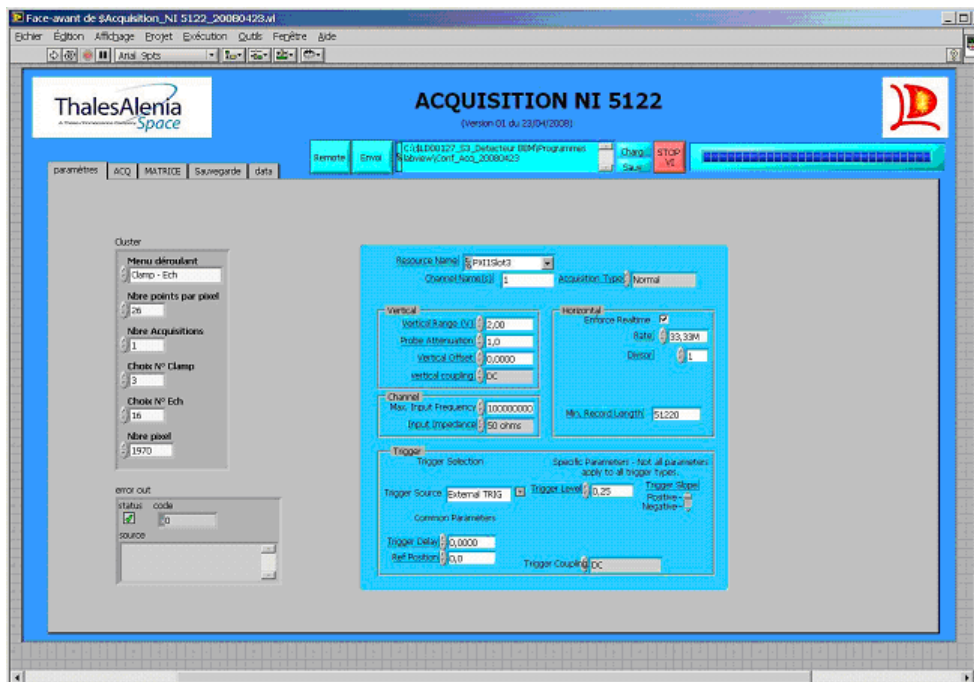


Illustration 39: Logiciel d'acquisition vidéo

La partie la plus intéressante est l'onglet matrice où l'on visualise directement la courbe obtenue en 3D.

Le programme s'exécute de la façon suivante :

- L'utilisateur démarre les alimentations pour alimenter tous les systèmes.
- Il démarre la source grâce au logiciel de la source optique.
- Il lance le programme de séquençement pour démarrer les horloges qui pilotent le capteur CCD.
- Il vérifie que le système est stable en température via le programme de régulation.
- L'utilisateur remplit les paramètres d'acquisition dans le cluster de l'onglet paramétrage. Par défaut, on fait l'acquisition de 1970 pixels avec 26 échantillons par pixel soit 51220 échantillons (26 échantillons par pixel correspond en fait à la fréquence maximale d'acquisition 25 MHz).
- Il modifie ensuite les paramètres d'acquisition spécifiques à la carte (dans le second cluster de l'onglet paramétrage).
- L'utilisateur peut aussi directement charger les paramètres à partir du fichier de configuration (il y a aussi une fonction de sauvegarde).
- Il démarre ensuite le programme d'acquisition.
- Puis, il clique sur Envoi et on attend la fin (barre bleu arrivé au bout).
- Il peut visualiser ensuite la courbe de la moyenne des échantillons en fonction du temps dans l'onglet Affichage Moyenne/Ecart type.
- Il peut regarder le tableau de la matrice de points 2D dans l'onglet affichage matrice.
- Il peut visualiser une courbe 3D moyennée ou non dans l'onglet affichage matrice.
- Dans l'onglet Sauvegarde, il peut charger ou sauvegarder les tableaux de données moyenne et écart type plus la matrice complète moyennée.
- Dans l'onglet Data, il peut voir la matrice moyenne et la matrice écart type.

Pour terminer le programme, l'utilisateur clique sur STOP.

Il peut ensuite éteindre, s'il le désire, dans l'ordre :

- Le banc optique.
- Le séquençement.
- Les alimentations.

8.2.7) La reconstruction de palier

Ce programme est utile pour reconstruire le signal d'origine suivant différents paramètres à partir des échantillons acquis préalablement. La reconstruction permet donc

de retrouver la courbe de l'amplitude (en mV) en fonction du temps. Ceci permet entre autre d'obtenir le signal vidéo et les différents paliers de référence.

8.2.7.1) Cas d'usages



- Choisir le n° de ligne et le n° de pixel
- Sélectionner le séquençement à utiliser
- Paramètrer la carte d'acquisition
- Charger/sauvegarder la configuration
- Visualiser le signal vidéo reconstruit sur le pixel choisi

8.2.7.2) Analyse

Le programme va en fait effectuer les actions de séquençement, d'acquisition d'échantillons, et de reconstruction de palier.

Les figures suivantes représentent quelques reconstructions :

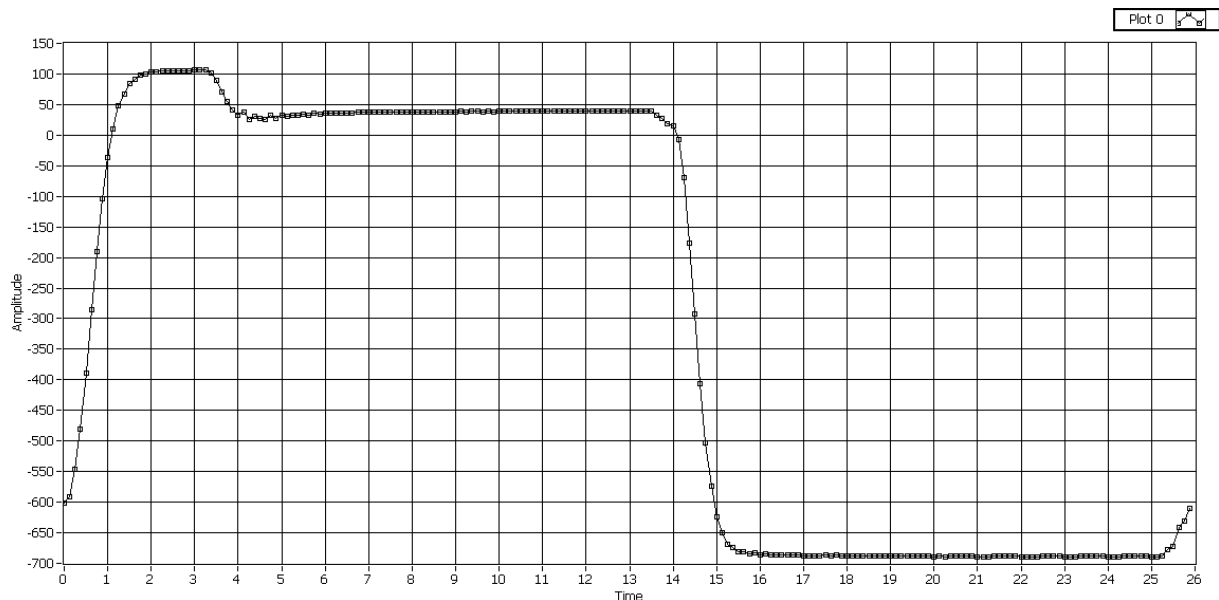


Illustration 40: Dynamique maximum, Ligne 42 pixel 408, reconstruction de palier

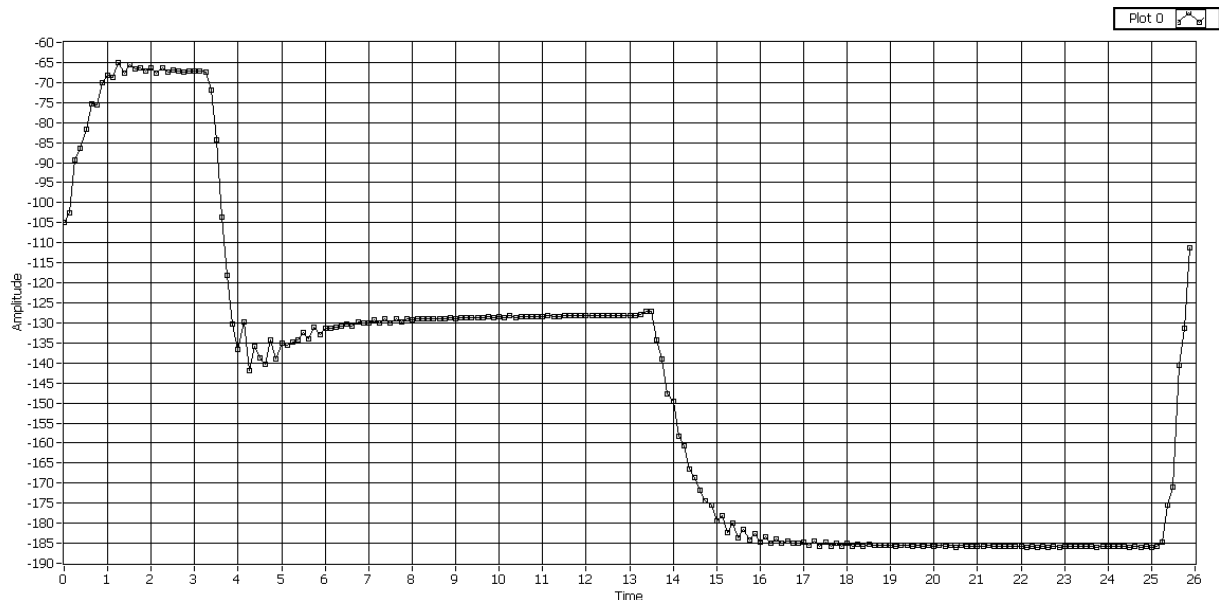


Illustration 41: Obscurité, Ligne pixel 408, reconstruction de palier

8.2.7.3) Description

Présentation de la face avant :

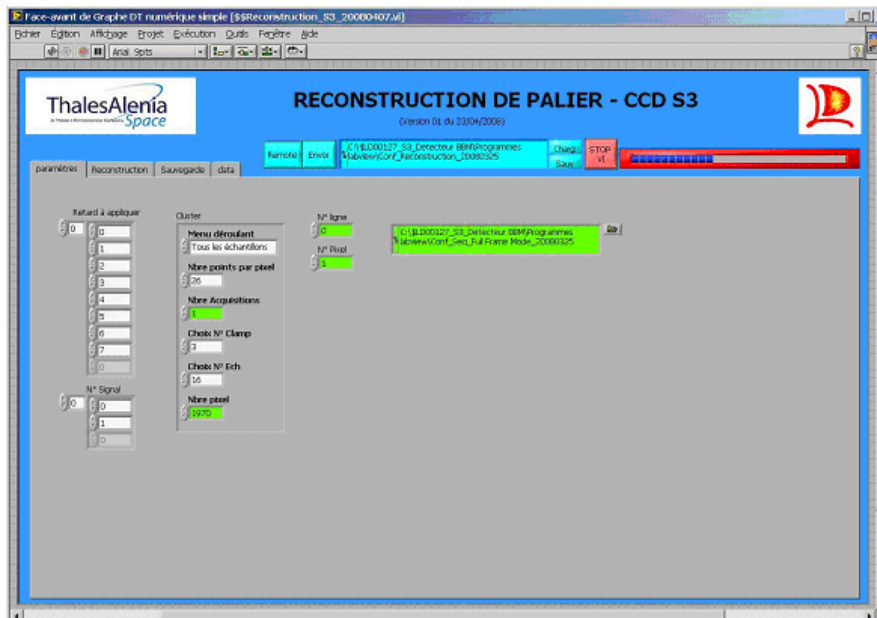


Illustration 42: Logiciel de reconstruction de palier

Le programme s'exécute de la façon suivante :

- L'utilisateur démarre les alimentations pour alimenter tous les systèmes.
- Il démarre la source grâce au logiciel de la source optique.
- Il vérifie que le système est stable en température via le programme de régulation.
- Il lance le programme de reconstruction.
- L'utilisateur choisit les différents retards à appliquer dans le tableau dans l'onglet paramètres.
- Il remplit ensuite les paramètres d'acquisition dans le cluster de l'onglet paramètres.
- Il choisit ensuite le n° de ligne et de pixel sur lesquels reconstruire le palier.
- Il peut charger un autre fichier de la configuration de reconstruction des paliers.
- Il peut charger un autre fichier de la configuration de séquençement.
- Il peut sauvegarder le fichier de configuration de reconstruction des paliers.
- L'utilisateur appuie sur le bouton envoi pour démarrer le séquençement et choisit d'avoir un historique ou non suivant s'il veut conserver une trace ou non des mesures.
- Il peut visualiser le résultat graphique de la reconstruction sous l'onglet reconstruction.
- Il peut sauvegarder les paramètres de reconstruction dans le chemin souhaité.
- Il peut visualiser les amplitudes de la reconstruction dans l'onglet Data.

Pour terminer le programme, l'utilisateur clique sur STOP.

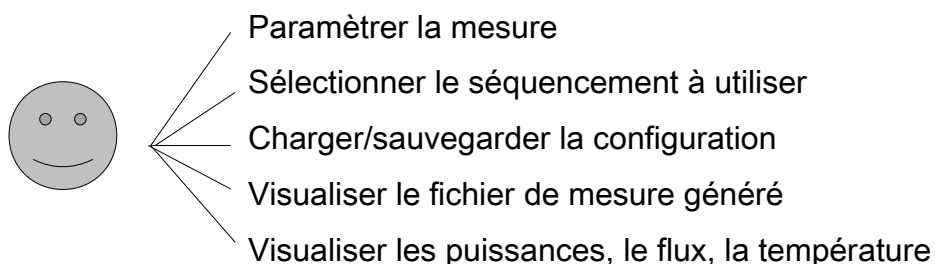
Il peut ensuite éteindre, s'il le désire, dans l'ordre :

- Le banc optique.
- Le séquençement.
- Les alimentations.

8.2.8) La mesure de linéarité

Ce programme va permettre de mesurer la linéarité du détecteur lors des essais (paramètre important pour le détecteur)(voir explications en partie 10.2.1).

8.2.8.1) Cas d'usages



8.2.8.2) Analyse

Le programme va en fait effectuer les actions de séquençage, d'acquisition d'échantillons, de réglages optiques et de mesures (powermeter). Il va utiliser les autres programmes comme sous fonction.

8.2.8.3) Description

Présentation de la face avant :

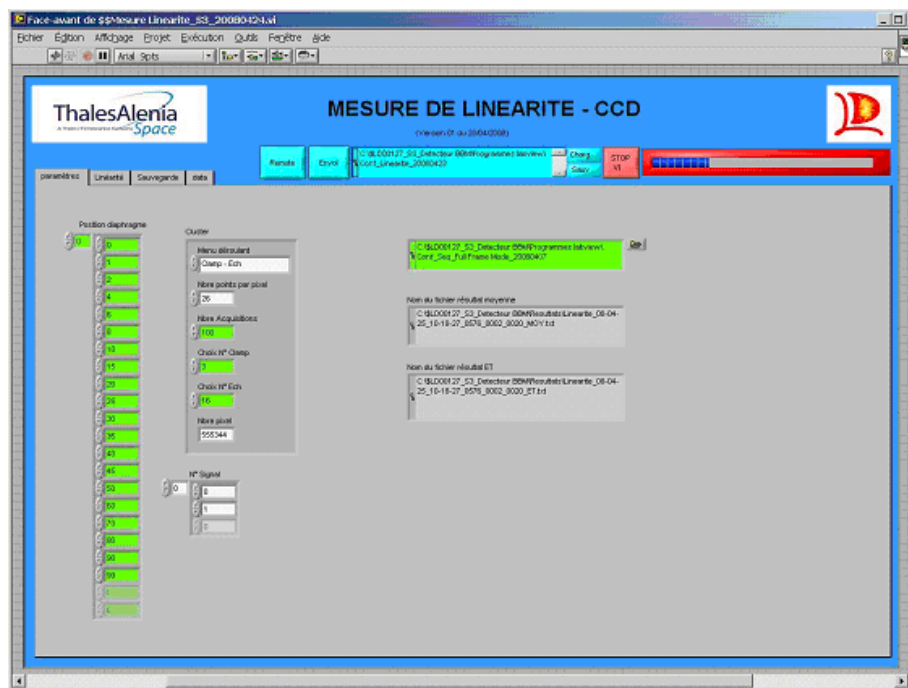


Illustration 43: Logiciel de mesure de linéarité

Le programme s'exécute de la façon suivante :

- L'utilisateur démarre les alimentations pour alimenter tous les systèmes.
- L'utilisateur démarre la source grâce au logiciel de la source optique.
- Il vérifie que le système est stable en température via le programme de régulation.
- L'utilisateur lance le programme de linéarité.
- Il choisit d'avoir un historique ou non suivant s'il veut conserver une trace ou non des mesures.
- L'utilisateur choisit les différentes positions successives du diaphragme dans le tableau dans l'onglet

paramètres.

- Il remplit ensuite les paramètres d'acquisition dans le cluster de l'onglet paramètres.
- Il choisit ensuite le nombre de points sur lesquels effectuer la mesure de linéarité.
- Il peut charger un autre fichier de la configuration de linéarité.
- Il peut charger un autre fichier de la configuration de séquençement.
- Il peut sauvegarder le fichier de configuration de linéarité.
- L'utilisateur appuie sur le bouton envoi pour démarrer le séquençement.
- Il peut visualiser le résultat graphique de la reconstruction sous l'onglet reconstruction.
- Il peut sauvegarder les paramètres de linéarité dans le chemin souhaité.
- Il peut visualiser les valeurs des mesures dans l'onglet Data.

Pour terminer le programme, l'utilisateur clique sur STOP.

Il peut ensuite éteindre, s'il le désire, dans l'ordre :

- Le banc optique.
- Le séquençement.
- Les alimentations.

IX) Difficultés rencontrées

9.1) Carte d'acquisition NI 5922

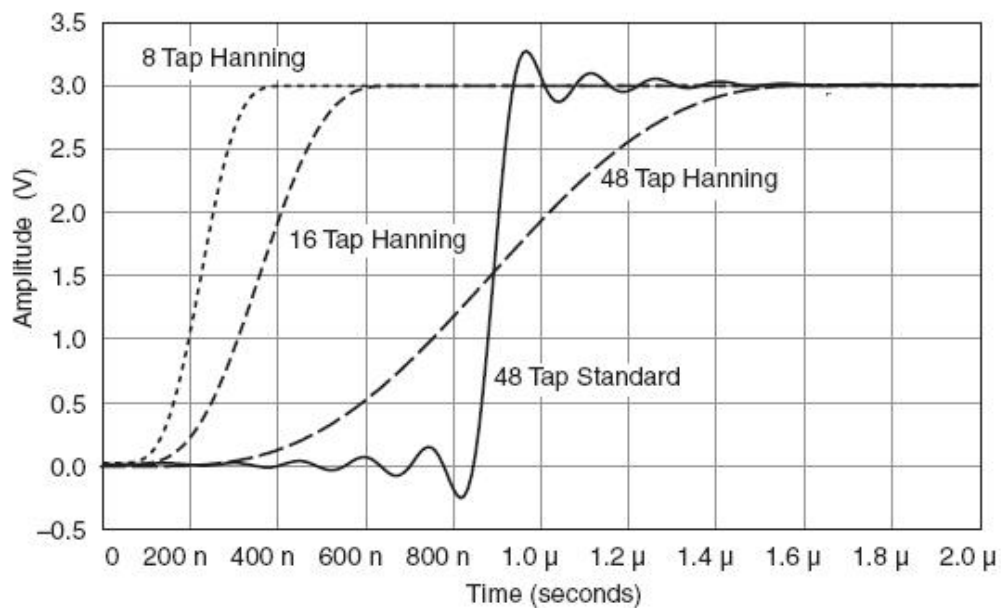
La première difficulté rencontrée lors du stage a été de réussir à faire fonctionner cette nouvelle carte d'acquisition (24 bits à 500 Kéch./s et 16 bits à 15 Méch./s). On souhaitait d'abord effectuer une acquisition (en mode matrice complète) de 1 trame de 576 lignes par 874 pixels. La carte d'acquisition est connectée avec un signal d'entrée à mesurer sur l'entrée channel 0. Un signal Top Trame sur le trigger et un signal Top pixel sur l'entrée Clk in. Le signal Top trame et le signal Top pixel sont des signaux adaptés qui sortent directement de la carte de séquençement.

Le premier problème rencontré était le suivant : il fallait être précis sur la fréquence du signal Top pixel puisque la PLL interne de la carte d'acquisition se synchronisait seulement entre 1 et 20 Mhz par pas de 1 Mhz à +/- 100 Hz.

La solution était la suivante : on pouvait modifier les spécifications afin d'avoir un signal

Top pixel à 1 Mhz et un nombre d'échantillons égal à 10 par pixel pour le test. Cette solution était viable même si le nombre d'échantillons pour un pixel semble petit.

Le second problème rencontré venait du filtre antirepliement à l'intérieur de la carte d'acquisition, il venait contraindre notre mesure dans le domaine temporel dans le meilleur des cas. Il faut savoir que ce problème est lié à la limitation temporel qu'induit le filtre antirepliement de la carte.



Time (t=0) represents the actual time the edge arrived at the BNC connector on the NI 5922.

Illustration 44: Temps de réponse des filtres antirepliement

En effet, on remarque bien qu'avec le filtre le plus rapide, on ne peut avoir de mesures viables avant 400 ns or en 400 ns, on a déjà effectué 40% des acquisitions d'échantillons sachant que la période pixel est de 1 us.

Notre seule solution fût donc le remplacement de la carte 5922 de National Instrument par une 5122 moins précise (14 bits) mais tout de même bien plus rapide (pas de filtre antirepliement contraignant).

9.2) Contrôleur de flux Newport

Le contrôleur de flux est un appareil qui est relié à une photodiode en sortie de la sphère intégrante. Le problème venait ici du fait que le contrôleur de flux était souvent en défaut. En détail, la photodiode était trop exposée au flux lumineux. C'est pourquoi, il a été décidé de rajouter un filtre optique ne laissant passer la lumière que sur 1 point de 1mm de diamètre.

Le second problème rencontré durant la phase de validation des logiciels fût l'apparition d'incertitude sur l'autosetup, c'est-à-dire qu'à un certain moment durant la mesure de linéarité, la fonction d'autosetup calibrat l'appareil en dessous de la gamme prévue. Après avoir rebouclé avec Newport, il n'y avait aucune solution matériel à notre problème. C'est pourquoi, il a été décidé de créer un algorithme spécifique pour le programme afin de palier à ce défaut.

9.3) Dynamique de sortie du détecteur

Lors des premiers tests sur le détecteur, il a été remarqué que la dynamique du détecteur était de 150 mV avant saturation. Ce résultat était particulièrement ennuyeux puisque la dynamique spécifiée était aux alentours de 700 mV. Dès lors, quelques investigations ont été réalisées sur le séquençement et le capteur.

Le capteur CCD est très sensible à l'**éblouissement** (*blooming*) : lorsqu'un photosite déborde, il inonde ses voisins. Pour palier à ce phénomène qui réduisait tout de même notre dynamique sur le signal vidéo par 5, nous avons opté pour un nouveau séquençement qui vise à vider deux fois de suite la zone photosensible, la barrière de stockage et le registre CCD. Le temps d'intégration du capteur est toujours de 42,78 ms (2 x (Move with dump + Dump) + Idle). Ce nouveau séquençement permet donc de vider correctement les charges du détecteur, ce qui n'était pas le cas avant.

9.4) couplage sur les phases

Un problème de couplage sur les phases horloges Iphi, Sphi a toujours été présent dès les premiers tests du détecteur. Ce problème est toujours en cours de traitement. Il est essentiellement dû au faible espacement entre les pistes des horloges sur la carte détecteur et à la charge du capteur CCD. Une première solution a été de rajouter des capacités de 5nF et des résistances de 10Ohm sur les horloges avant l'entrée dans le détecteur.

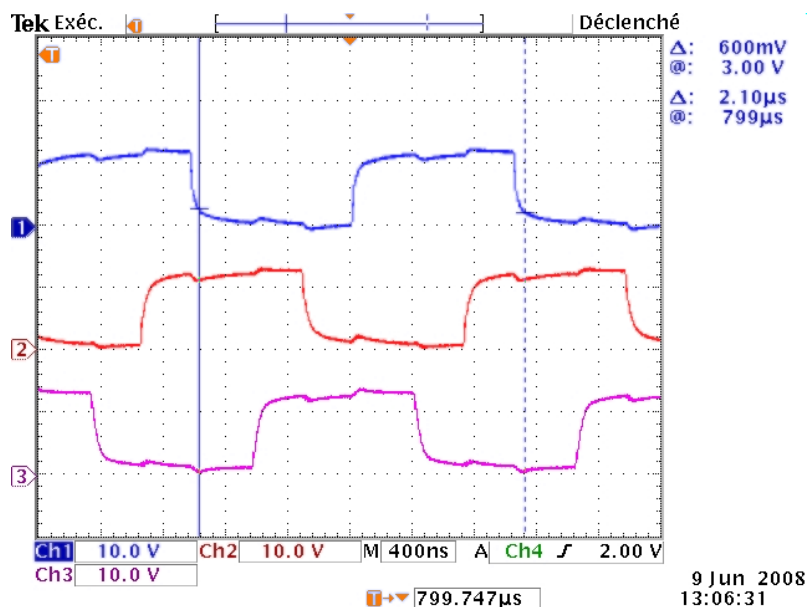


Illustration 45: Les trois horloges Iphi durant un Frame Transfert

On remarque bien les couplages entre horloges au milieu des paliers.

X) Réalisation des essais

10.1) Mise en oeuvre du matériel

La mise en oeuvre du matériel concerne la carte d'acquisition, la carte d'interface et le capteur CCD.

En ce qui concerne la carte d'acquisition, des tests ont été réalisés en utilisant les modules composants la bibliothèque fournie avec la carte. Il s'avère que la carte 5122 a le comportement souhaité contrairement à la carte 5922.

Pour la carte d'interface, la mise en oeuvre a consisté simplement à tester les temps de montée, les temps de descente, et les niveaux des horloges dans un premier temps à vide puis dans un second temps avec une carte charge simulant la charge du détecteur et dans un dernier temps avec le détecteur. Les consommations ont aussi été vérifiées.

Pour le détecteur, la mise en oeuvre reprend les phases de la mise en oeuvre de la carte interface dans un premier temps monté sans sa mécanique de régulation et dans un second temps avec toute sa mécanique. Sans trop de détails, une rapide analyse du signal vidéo nous a aussi permis de valider le fonctionnement général du détecteur couplé avec la carte d'interface.

Récapitulatif de la « mise en oeuvre » :

- Niveau des horloges
- Forme et timing des horloges
- Bruit de la chaîne
- Reconstruction de palier

10.2) Les tests

Sommaire des « essais » :

- Linéarité
- PRNU
- VDARK (Signal d'obscurité)
- DSNU
- DARK NOISE (Bruit d'obscurité)
- Efficacité de transfert horizontale
- Efficacité de transfert verticale

Mon rôle lors des essais n'était pas d'analyser les résultats mais plutôt de **fournir des résultats** pour que l'équipe du projet puisse effectuer l'analyse. Il est toutefois judicieux de comprendre comment chaque paramètre est calculé. En terme de résultats, on peut dire que les essais ont été réalisés et que le détecteur concorde avec la spécification.

10.2.1) La linéarité

L'objectif de l'essai est de mesurer la performance de linéarité du CCD S3 sur sa dynamique de sortie. On réalise la mesure de linéarité en utilisant le fait que la sphère intégrante comporte une lampe avec un atténuateur variable. Les acquisitions sont faites à différents niveau de flux. Ces 20 flux sont réglés à partir de l'atténuateur variable. Pour le « Full Frame Mode », on a 20 flux lumineux compris entre les points caractéristiques E 1 et E ' 3. De même, pour le « Binning Mode », on a 20 flux lumineux compris entre E 1 et E ' 4. On notera que E3 et E4 sont les éclairagements pour lesquels le CCD est à sa dynamique moyenne (respectivement en Full Frame Mode et en Binning Mode). De même pour E ' 3 et E ' 4, mais pour la dynamique maximum.

Chaque fichier résultat correspond à des images de 814 pixels x 586 lignes.

A partir de cette image brute on extrait l'image utile de coordonnées :

- Indice premier pixel: 37
- Nbre de colonne : 740
- Indice première ligne :41
- Nbre de ligne : 530

Pour chaque niveau de flux, on mesure la puissance d'un capteur de référence (POWER METER 2935-C) qui nous donnera l'information d'éclairement (abscisse de la courbe).

Les acquisitions brutes donne la courbe suivante :

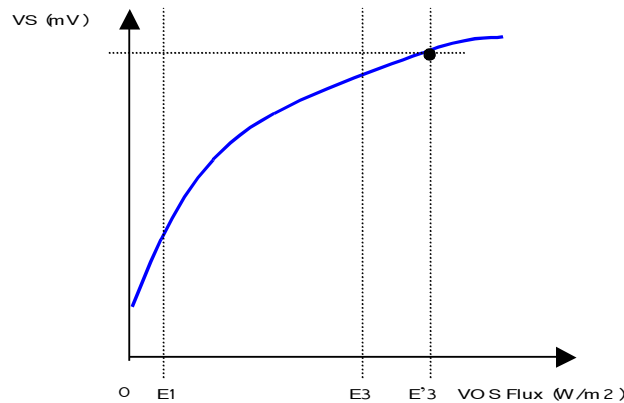


Illustration 46: Acquisition brute d'un pixel

On soustrait pour chaque pixel et à chaque flux la valeur d'obscurité.

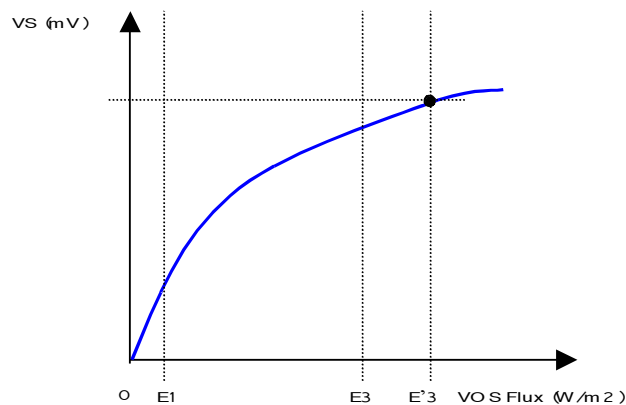


Illustration 47: Signal utile

Pour chaque pixel de la matrice, on calcul la régression linéaire en se limitant au N premiers flux (N étant le point de calibration).

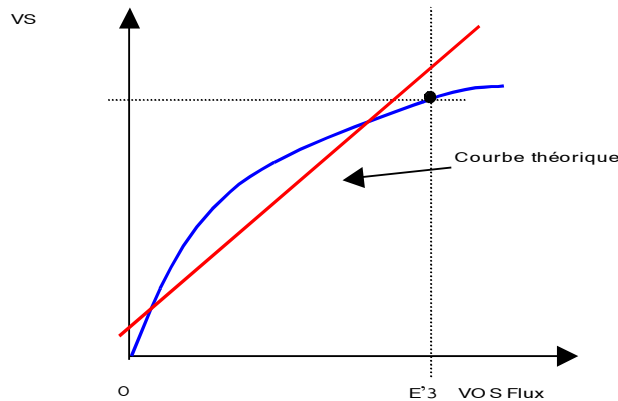


Illustration 48: Signal utile normalisé

La **Non Linéarité** est l'écart entre la courbe et la droite théorique ramenée en % par rapport à la valeur théorique. La **non linéarité différentielle** est quand à elle définie par l'écart type des non linéarités sur tous les pixels de l'image pour un flux donné. **Le résultat** de la non linéarité différentielle sera donné sous forme d'un tableau de 20 valeurs correspondant à chaque flux. Le résultat doit être inférieur ou égal à **0,3%** entre E 1 et (E3 ou E ' 3) et à **0,4%** entre E 1 et E4.

10.2.2) PRNU

PRNU (Pixel Response Non Uniformity) est une mesure de **dispersion** entre les différents pixels. C'est la différence entre le signal du pixel et la valeur moyenne de la bande ou zone de pixels.

La PRNU est calculé à partir des fichiers acquis lors de la linéarité. Il n'y a pas de mesure particulière à faire. On soustrait pour chaque pixel et à chaque flux la valeur d'obscurité. Une première analyse sur toute l'image permet de déterminer la moyenne et la l'écart type des données pour un flux donné.

Le calcul final se fait sur les données de la plage définie en déterminant le niveau

de signal moyen. Puis, pour chaque pixel, on calcule l'écart relatif entre le niveau de signal utile et le niveau de signal moyen. Le résultat obtenu (avec filtre 650 nm) doit être inférieur ou égal à 1,7%.

10.2.3) VDARK

VDARK (**Signal d'obscurité**) correspond à la différence entre le signal vidéo à l'obscurité pour un temps d'intégration nulle et le signal vidéo à l'obscurité pour un temps d'intégration de 42,78 ms.

Il est calculé à partir du fichier moyenne d'obscurité acquis lors de la mesure de linéarité pour un temps d'intégration OLCI (42,78 ms) et du fichier moyenne d'obscurité acquis lors de la linéarité à l'obscurité à $T_i=0$. Il n'y a pas de mesure particulière à faire.

A partir de L'image brute image brute on extrait l'image utile de coordonnées :

- Indice premier pixel: 17
- Nbre de colonne : 780
- Indice première ligne :41
- Nbre de ligne : 530

On soustrait pour chaque pixel la valeur d'obscurité à $T_i=0$ de la valeur d'obscurité à $T_i=42,78$ ms. La valeur du DARK signal est la valeur moyenne sur toute l'image. Ce résultat doit être inférieur ou égal à 1013 μV pour un CCD en « Full Frame Mode » à 17°C.

10.2.4) DSNU

DSNU (**Dispersion Signal Non Uniformity**) est définie comme la variation de la réponse d'un pixel dans la zone image avec le CCD à l'obscurité.

Ce paramètre correspond à l'écart type de VDARK (signal d'obscurité). Le résultat

obtenu doit être inférieur ou égal à **41 uV** pour un CCD en « Full Frame Mode » à 17 °C.

10.2.4) DARK NOISE

DARK NOISE (**bruit d'obscurité**) correspond à la valeur d'écart type maximale du signal vidéo sur toute l'image à l'obscurité. Il est calculé à partir des fichiers écart type à l'obscurité acquis lors de la linéarité. Il n'y a pas de mesure particulière à faire.

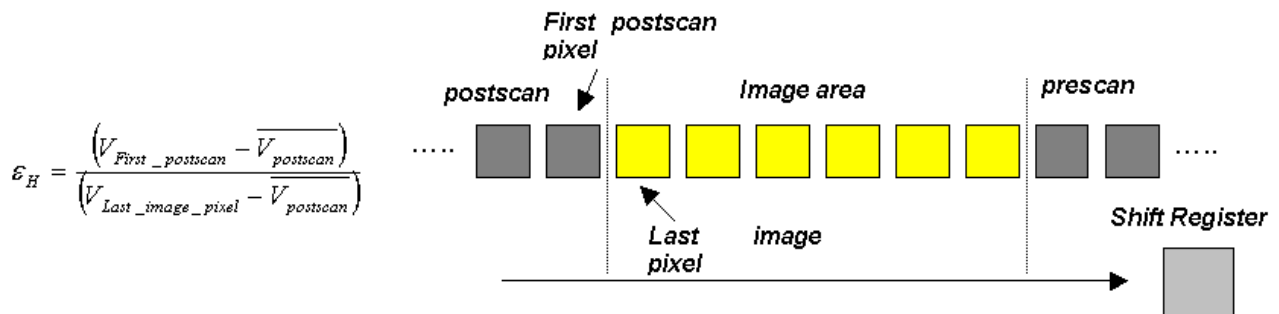
Le résultat doit être inférieur ou égal à **1,2 mV** pour un filtrage **10 KHz** et à **16,75 mV** pour un filtrage **10 MHz** pour le « Full Frame Mode » avec le détecteur à 17°C.

10.2.5) Efficacité de transfert

Horizontale :

L'efficacité de transfert horizontale tient compte de l'efficacité que possède le registre série à déplacer les charges d'un pixel à un autre.

Inefficacité de transfert horizontale :



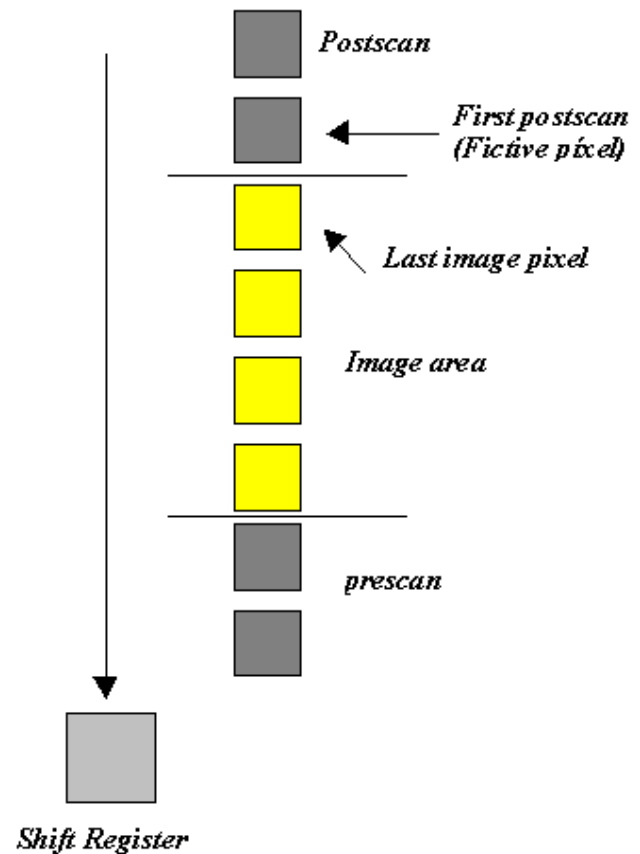
= moyenne des 5 derniers pixels de postscan.

Dans le but de réaliser cette mesure, des pixels fictifs sont nécessaires de chaque côté de la zone image. Ici, la mesure ne peut pas se faire car le premier pixel de postscan est un pixel physique (et non virtuel) dont l'information est de 25% du dernier pixel utile.

Verticale :

L'efficacité de transfert verticale est calculé de la même méthode que l'horizontale. Dans notre cas, on rajoute 10 lignes fictives à lire en « Full Frame Mode ».

Inefficacité de transfert verticale :



$$\epsilon_H = \frac{(V_{\text{First_postscan}} - V_{\text{postscan}})}{(V_{\text{Last_image_pixel}} - V_{\text{postscan}})}$$

A 17°C, $CTI_{\text{Total}} = 1.7 \times CTI_{\text{Vertical}}$ (CTI = inefficacité de transfert).
L'inefficacité de tranfert totale doit être inférieure à **1%**.

XI) Conclusion

Ce stage au sein de Thales Alenia Space m'a beaucoup apporté d'un point de vue technique aussi bien que personnel.

D'un point de vue technique, le stage m'a permis de mettre en avant mes compétences en conception système, en électronique et en développement LabView. J'ai entre autre découvert les spécificités des capteurs CCD et des systèmes associés. De plus, j'ai mis a profit mes compétences en Labview afin de concevoir les programmes dédiés à l'automatisation des bancs de tests.

Au niveau des difficultés techniques rencontrées, j'ai été amené à les résoudre en tenant compte de la difficulté technique, des coûts, et des délais.

De surcroît, le montage et l'automatisation des bancs de test m'a aidé à faire évoluer mon autonomie et mes compétences puisque je n'avais aucune connaissance sur les spécificités des appareils et du laboratoire au début du stage.

D'un point de vue plus personnel, ce stage m'a permis, tout d'abord, d'évoluer dans une entreprise importante dans le domaine des satellites. Une entreprise comme celle-ci comporte un avantage principal : la majorité des employés sont ingénieurs, cela permet de trouver rapidement des solutions en cas de problèmes.

De plus j'ai eu le privilège d'évoluer au sein d'une équipe de travail sur un projet bien défini. J'ai pu acquérir des compétences sur la manière dont un projet se gère.

Finalement, ce stage a été pour moi l'occasion de me rapprocher du monde de l'industrie du spatial qui est un monde très intéressant de part les technologies de pointe utilisées.

Glossaire :

S3 : Satellite « Sentinel 3 » d'observation des terres et océans dans un but scientifique.

OLCI : Ocean and Land color Instrument : Instrument couleur pour les terres et océans.

Classe 100/100000 : Salle blanche comportant moins de 100/100000 particules de 0,5 um par pied cube et aucune de 5 um.

Telecom Valley : Association à but non lucratif visant à stimuler l'innovation de la région.

APPIM : Association des Partenaires pour la Promotion de l'Industrie Méditerranéenne.

BUOOS : Business Unit Optical Observation and Science : Unité d'affaire en observation optique et science.

GMES : Global Monitoring for Environment and Security : Surveillance mondiale pour l'environnement et la sécurité.

VEGETATION : Capteur optique utilisé sur SPOT5 pour suivre l'évolution des écosystèmes continentaux.

SPOT5 : Dernier né de la génération des satellites SPOT, SPOT 5 a été lancé le 4 mai 2002 de la base spatiale de Kourou. Il diffère des précédents satellites SPOT par une meilleure résolution de prise de vue des capteurs haute résolution visible et proche infra rouge.

ENVISAT : Satellite lancé le 1er Mars 2002, consacré à l'observation de la terre. Ce satellite sera remplacé à terme par les 5 satellites Sentinel.

ESA : European Space Agency : Agence Spatiale Européenne.

NASA : National Aeronautics and Space Administration : Agence Spatiale Américaine.

CNES : Centre National d'Etudes Spatiales.

ASI : Agence Spatiale Italienne.

KARI : Korea Aerospace Research Institute : Agence Spatiale Coréenne.

NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration : Agence américaine pour les océans et l'atmosphère.

EUMETSAT : European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites : organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques.

ERS : European Remote Sensing satellite system : Programme de l'ESA dédié à l'observation de la terre (programme plus ancien que GMES).

MWR : MicroWave Radiometer : Instrument de mesure des ondes électromagnétiques.

SLST : The Sea and Land Surface Temperature radiometer : Instrument de mesure de la température de surface de la terre et des océans.

LRA : Laser Retroreflector Array : Réflecteur laser, il permet d'effectuer des mesures altimétriques et ainsi des calculs d'orbite.

SRAL ant. : Radar Altimeter antenna : Antenne radar altimétrique.

X-band ant. : Antenne Bande X pour les télécommunications (aux alentours de 8 Ghz).

S-band ant. : Antenne Bande S pour les télécommunications (entre 2 et 4 Ghz).

GNSS : Global Navigation Satellite System : Système global de navigation par satellite, il permet un positionnement geo-spatial autonome.

DORIS : Détermination d'Orbite et Radiopositionnement Intégré par Satellite.

3 x STR : 3 x Star Tracker : Système de positionnement en fonction de 3 étoiles.

VAM : Video Acquisition Module : Module d'acquisition vidéo.

FPA : Focal Plane Assembly : Assemblage du plan focal.

BBM : BreadBoard Model : Modèle d'essai.

EM : Engineering Model : Modèle d'ingénierie.

PFM / FM : Pré Flying Model / Flying Model : Pré modèle de vol / modèle de vol.

MERIS : ENVISAT MEdium Resolution Imaging Spectrometer Instrument : Instrument spectromètre de résolution moyenne du satellite ENVISAT.

CCD : Charge-Coupled Device : Dispositif à transfert de charges.

LVDS : Low Voltage Differential Signal : Signal différentiel faible tension.

RS232 : Port de communication de type série.

GPIB : General Purpose Interface Bus : Bus de communications numériques à courte distance.

DEC : Double Echantillonnage Corrélé.

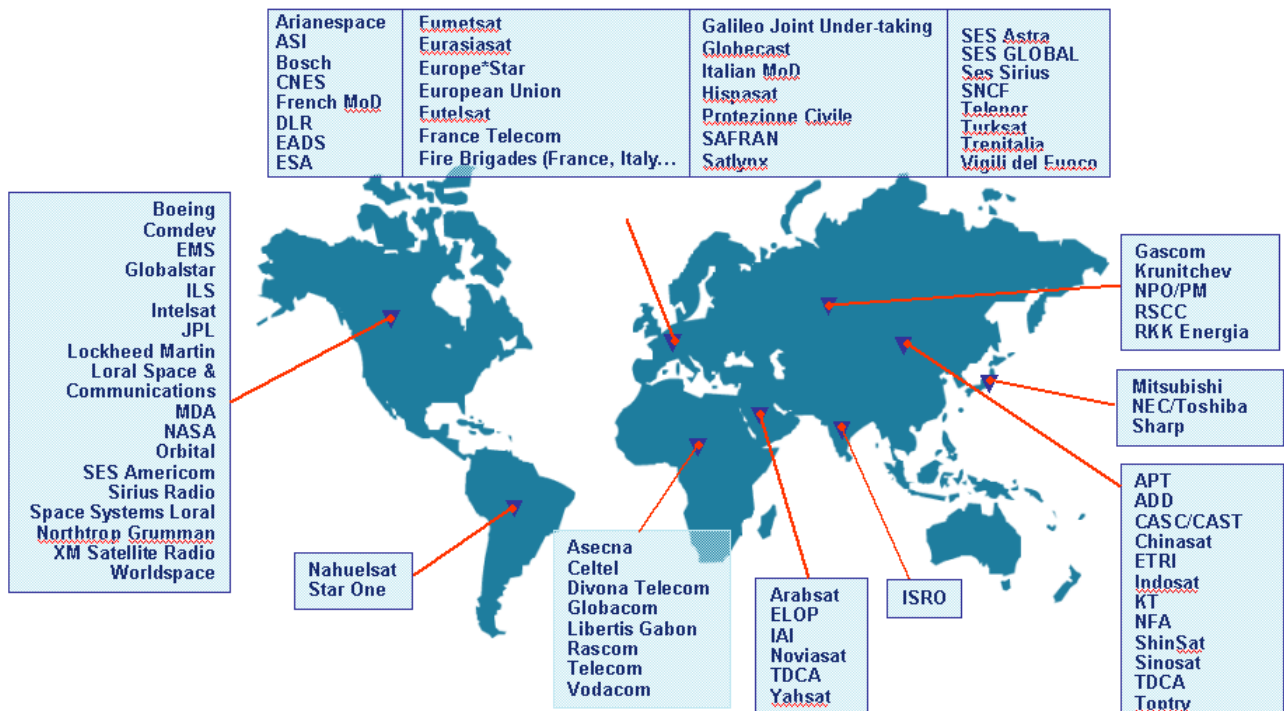
CAN : Convertisseur Analogique/Numérique.

PLL : Phase-Locked Loop : Boucle à verrouillage de phase.

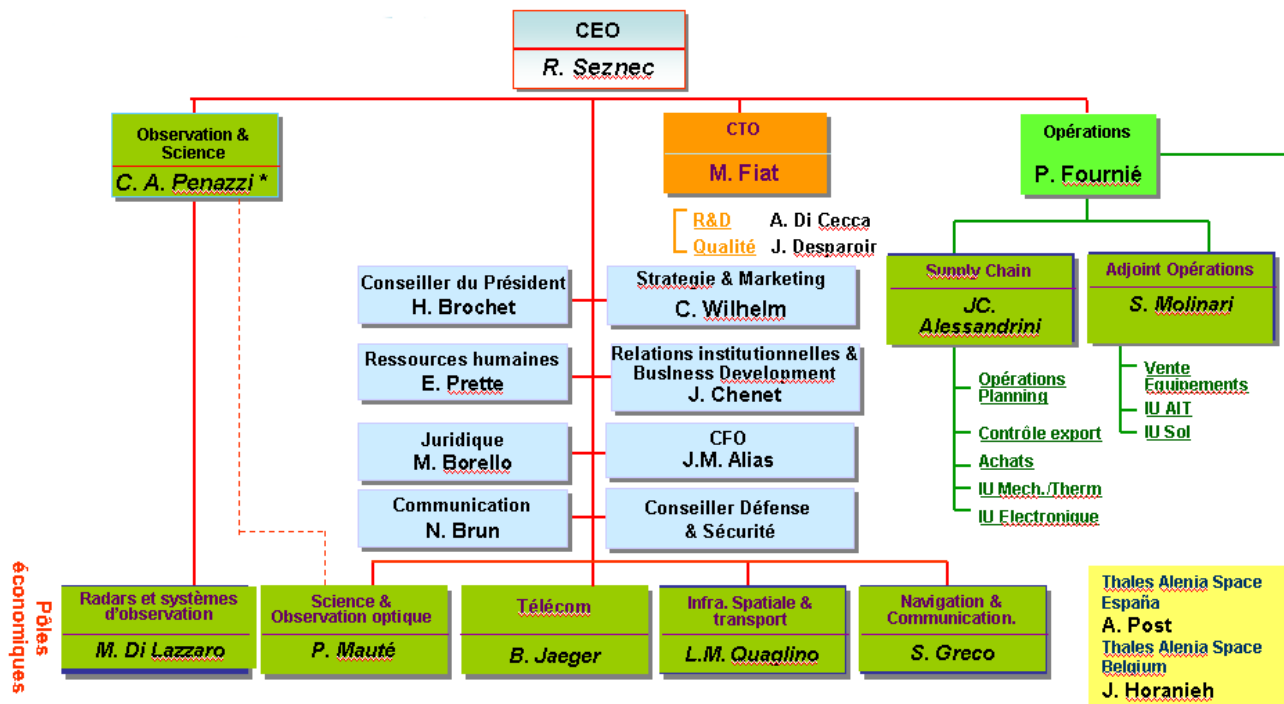
Annexes

ANNEXES

Annexe 1 : Thales Alenia Space, des clients dans le monde entier

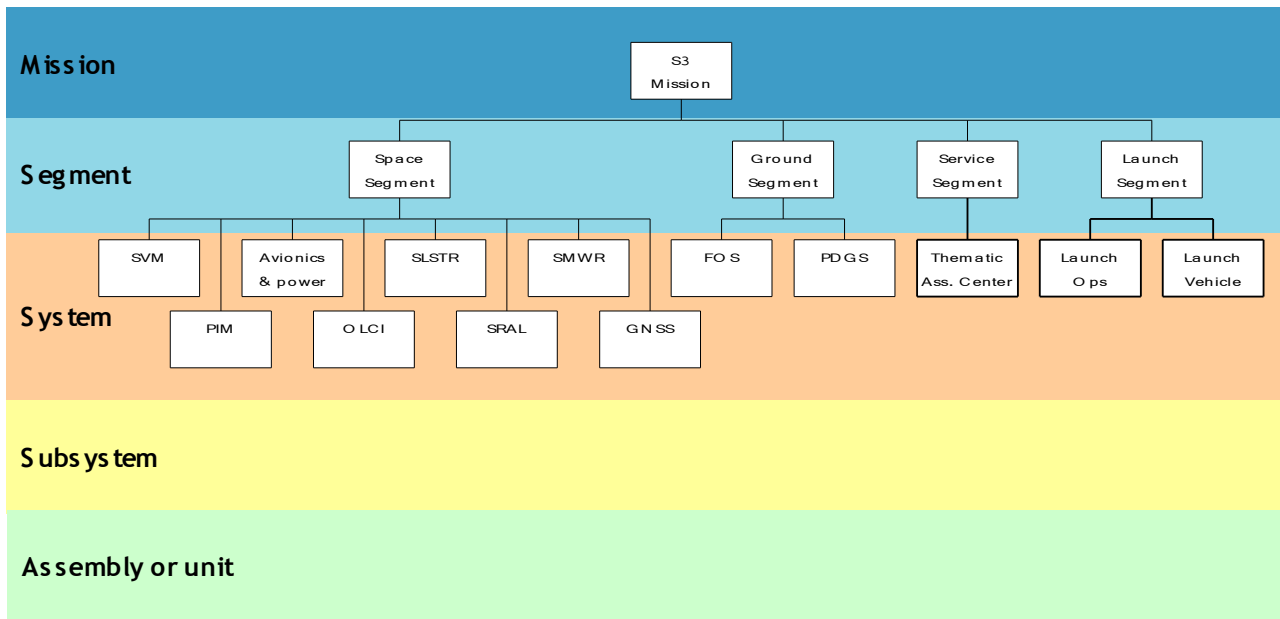


Annexe 2 : Thales Alenia Space, une organisation transnationale



* CA. Penazzi est également CEO de Thales Alenia Space Italie

Annexe 3 : Organigramme de mission S3



(Voir les abréviations dans le glossaire).

Autres abréviations :

SVM : Service Module : Module de service, contient les fonctions qui permettent de contrôler le satellite.

PIM : Payload Integration Module : Module d'intégration de la charge utile.

FOS : Flight Operation Segment : Segment opération de vol.

PDGS : Payload Data Ground Segment : Données de la charge utile du segment sol.

Annexe 4 : Spécification CCD 55-20

e2v
e2v technologies

CCD55-20 Inverted Mode Sensor
770 x 1152 Pixel Full-Frame Back Illuminated CCD Sensor

FEATURES

- 770 x 1152 pixel Image Area
- 22.5 μm Square Pixels
- Low Noise and High Speed Output Amplifiers
- 100% Active Area
- Gated dump drain on Output Register
- Advanced Inverted Mode Operation (AIMO)
- Back Illuminated

INTRODUCTION

This version of the CCD55 family of CCD Sensors is normally used as a full-frame Imaging device although the image area is split into two sections (A and B) that can be clocked separately if required for frame transfer operation. The CCD55 has a single serial output register that has separate charge detection circuits incorporated at each end. One output (A1) is intended for high-speed applications and has an associated dummy output. The maximum speed of this output is approximately 12 MHz when driven into a 10 pF load. At this frequency the output is sufficiently settled for reliable CDS. Operation up to 20 MHz should be achievable if incomplete settling can be tolerated. This output has a charge handling capacity of at least two binned pixels. The second output (A2) is designed for the lowest noise performance whilst still being able to handle the full well capacity of one pixel (approximately 450,000 electrons).

The CCD55 is intended as an upgrade to the CCD05 and is mostly pin compatible with the CCD05. The main features that have been upgraded are the output amplifiers which are now significantly lower noise and higher speed, the pixel full well capacity has been significantly enhanced, a register dump drain has been added and the new design is now compatible with the standard backthinning process.

GENERAL DATA

Format

Image area	17.3 x 25.9 mm
Active pixels:	
horizontal	770
vertical	1152
Pixel size	22.5 x 22.5 μm

17 additional pixels are provided at each end of the output register for output settling purposes.

Number of output amplifiers..... 2

The device has a 100% fill factor for maximum sensitivity.

PACKAGE

Format	ceramic 44-pin
Size	45.7 x 33.0 mm
Inter pin spacing	2.54 mm
Inter row spacing	35.56/40.64 mm

TYPICAL PERFORMANCE

Output amplifier responsivity:	
A1	1.2 $\mu\text{V/e}^-$
A2	3.0 $\mu\text{V/e}^-$
Maximum speed:	
A1	12 MHz
A2	7 MHz
Readout noise (140 – 253 K)	
A2	3 $\text{e}^- \text{rms}$
Peak signal (no binning).....	450,000 $\text{e}^-/\text{pixel/s}$
Dark signal (at 293 K)	700 $\text{e}^-/\text{pixel/s}$
Charge transfer efficiency	
parallel.....	99.9999%
serial	99.9993%
Dark signal non-uniformity, 1 σ (at 293 K).....	175 $\text{e}^-/\text{pixel/s}$
Readout register capacity.....	2 x pixel
Minimum spectral range	200 – 1100 nm

Note: All values quoted using typical operating conditions at a readout frequency of 20 kHz and at a temperature of 253 K (approx).

TYPICAL OPERATING CONDITIONS

Ref	Pin No	Description	Typ. Voltage
Vss	11,33	Substrate	9.5 V
A \odot 1	10,34		
A \odot 2	9,35	Parallel clocks (high level)	12 V
A \odot 3	8,36		
B \odot 1	12,32		
B \odot 2	13,31	Parallel clocks (high level)	12 V
B \odot 3	14,30		
R \odot 1	24		
R \odot 2	21	Register clocks (high level)	12 V
R \odot 3	22		
\odot R1	25	A1 reset pulse (high level)	12 V
\odot R2	20	A2 reset pulse (high level)	12 V
V _{og}	23	Output gates	3 V
V _{os1}	28	Output source (A1)	
V _{os2}	27	Dummy output source (A1)	
V _{og2}	18	Output source (A2)	
V _{ro1}	26	Reset drain (A1)	17 V
V _{ro2}	19	Reset drain (A2)	17 V
V _{od1}	29	Output drain (A1)	29 V
V _{od2}	17	Output drain (A2)	29 V
V _{dg}	3,42	Dump gate (nom./dump)	0/12 V
V _{dd}	16	Dump drain	24 V
V _{abd}	6,39	Antiblooming drain (see note 1)	24 V
V _{is}	2,43	Isolation gate (see note 5)	0 V
nc	1,4,5,7,15,37,38,40,41,44	No connection	
R _L		External load resistor	A1 5 k Ω A2 3.3 k Ω

Nomenclature

Vss	-	Substrate
A \odot 1, A \odot 2, A \odot 3	-	Image area clocks
R \odot 1/2/3	-	Serial register clocks
\odot R	-	Reset clock
\odot SW	-	Summing well
DG	-	Register dump gate
OG1, OG2	-	Output gates
DD	-	Dump drain
OD	-	Output drain
OS	-	Output source
RD	-	Reset drain
RL	-	Load resistor (for FET use)
OP	-	JFET source (output)
JD	-	JFET drain

NOTES

- Although antiblooming is not provided on this sensor, these connections should be made to the appropriate voltages to ensure correct operation of the device.
- Readout register clock pulse low levels +1 V; other clock low levels 0 \pm 0.5 V.
- With the R \odot connections shown this device will operate through A2. In order to operate from the A1 R \odot 1 and R \odot 2 should be reversed.
- OS = 3 – 5 V below OD typically.
- Charge can be reverse clocked into the drain at the top of the device. During this period of clocking V_{is} should be raised to 12 V.

BLEMISH SPECIFICATIONS

(For CCD without any coatings or windows)

Grade	0	1	2
Column defects - black or slipped - white	0	2	6
White spots	60	100	150
Black spots	20	100	200
Traps >200e ⁻	2	5	12

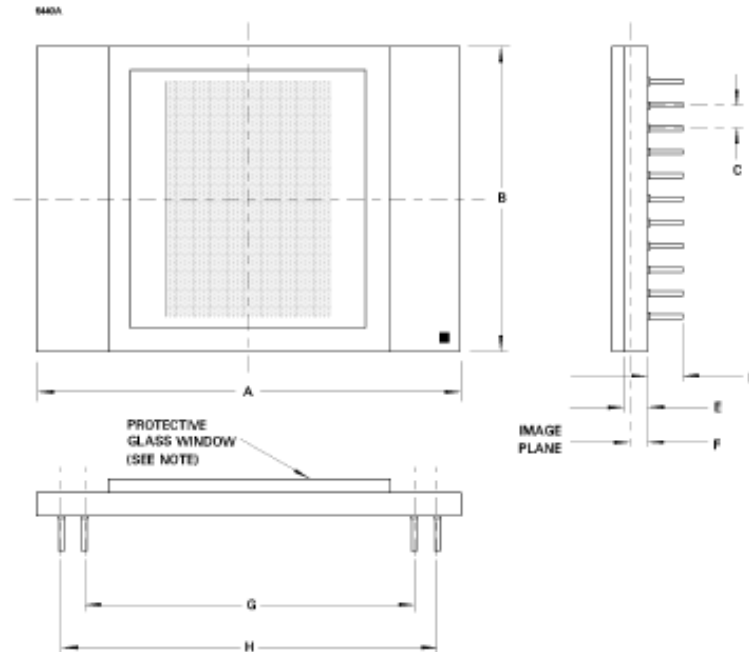
Minimum separation between adjacent column defects is 50 pixels.

Package

A6 CCD05-20

OUTLINE (All dimensions nominal)

Not for inspection purposes

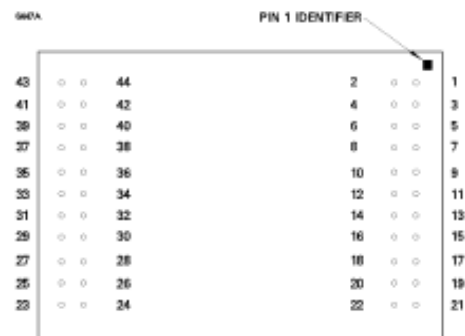


Outline Note

The device is normally supplied with a temporary glass window for protection purposes. It can also be supplied with a fixed, quartz or fibre-optic window where required.

Ref	Millimetres
A	45.72
B	33.02
C	2.54
D	3.81
E	2.29
F	1.68
G	35.56
H	40.64

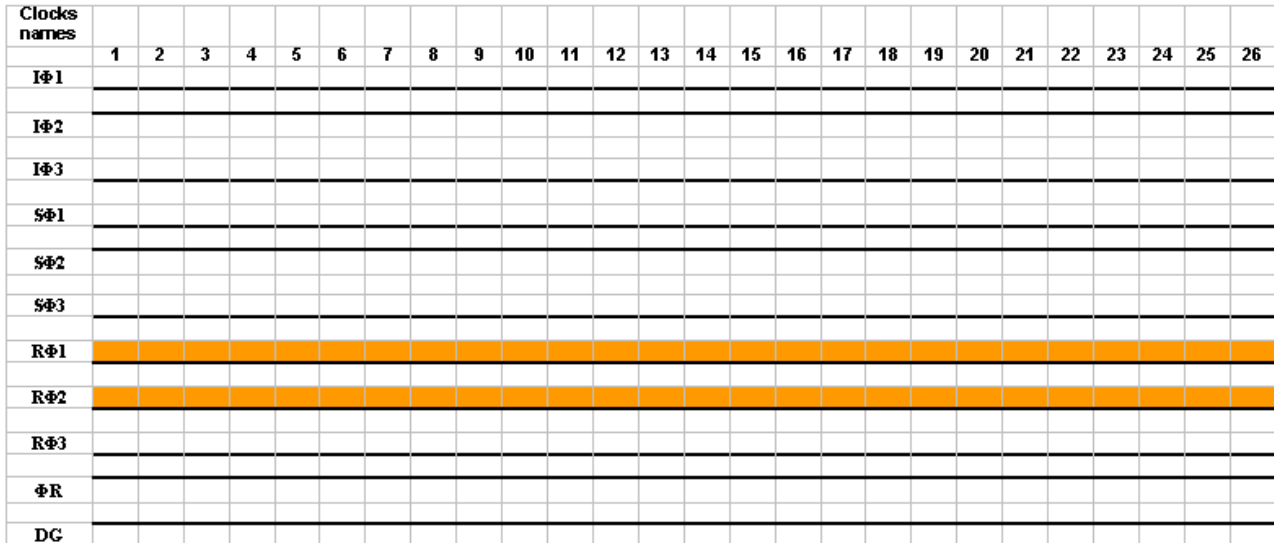
PIN CONNECTIONS (View on pins)



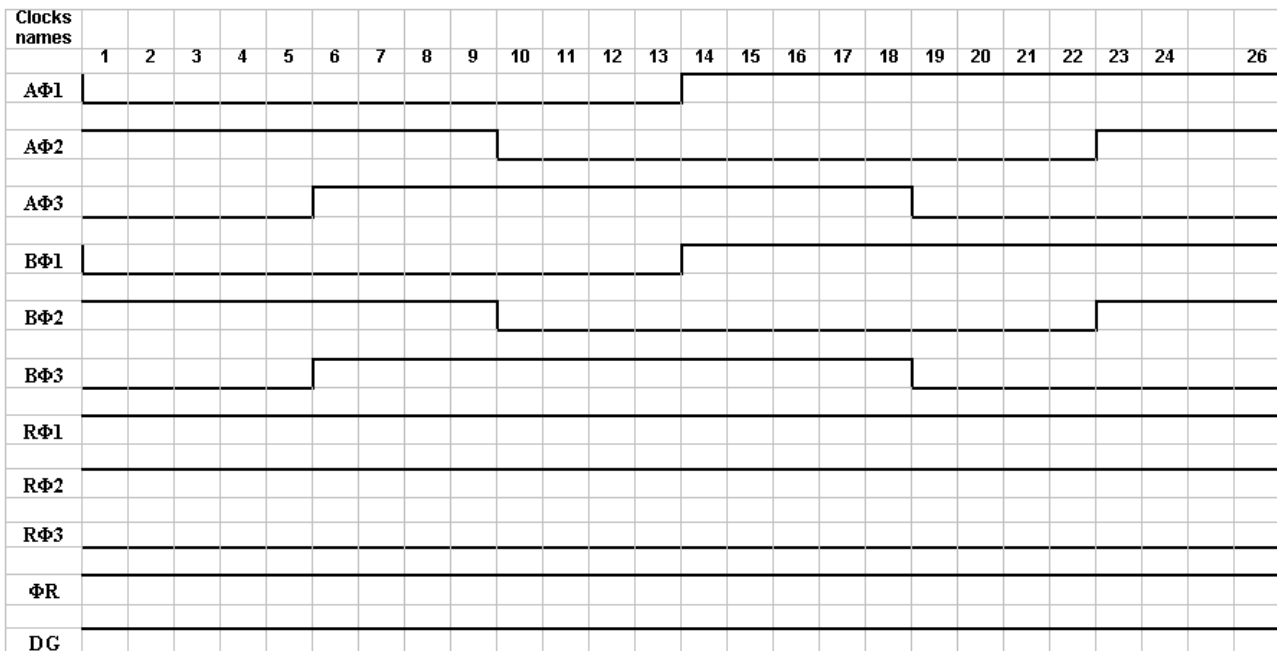
Annexe 5 : Séquencement des horloges

1 pas = 5 ns donc 26 pas = 130 ns.

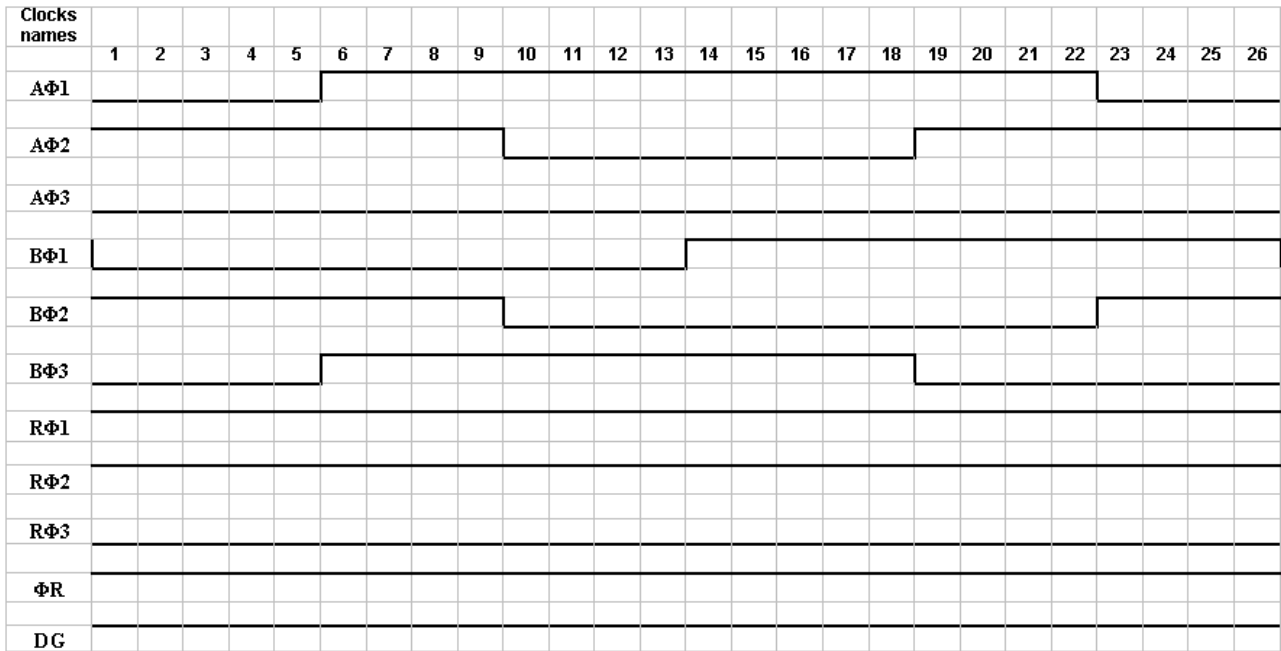
Fonction Dump :



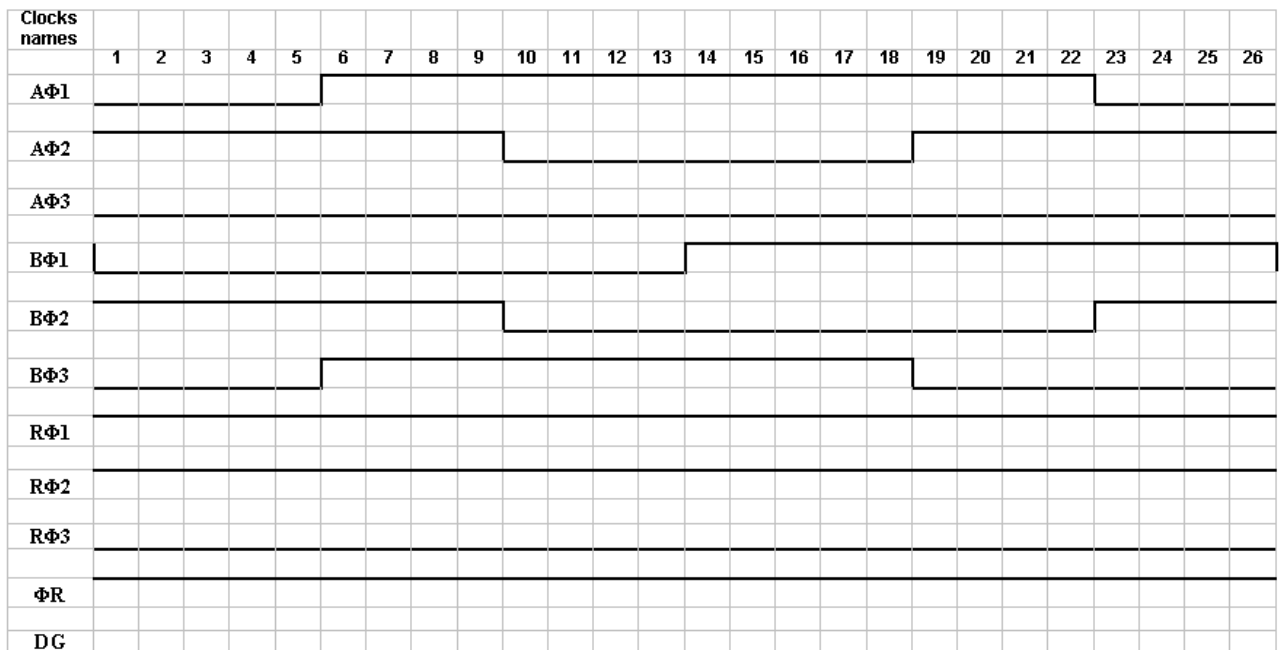
Fonction Frame transfer :



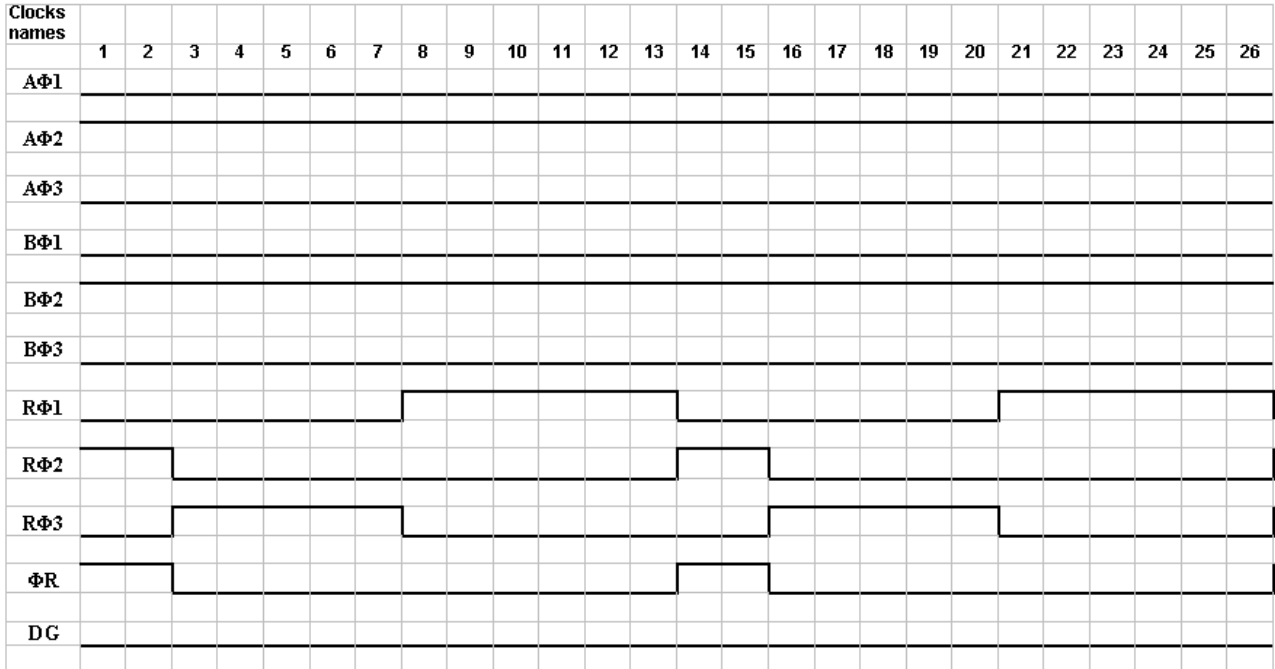
Fonction Line move with Dump :



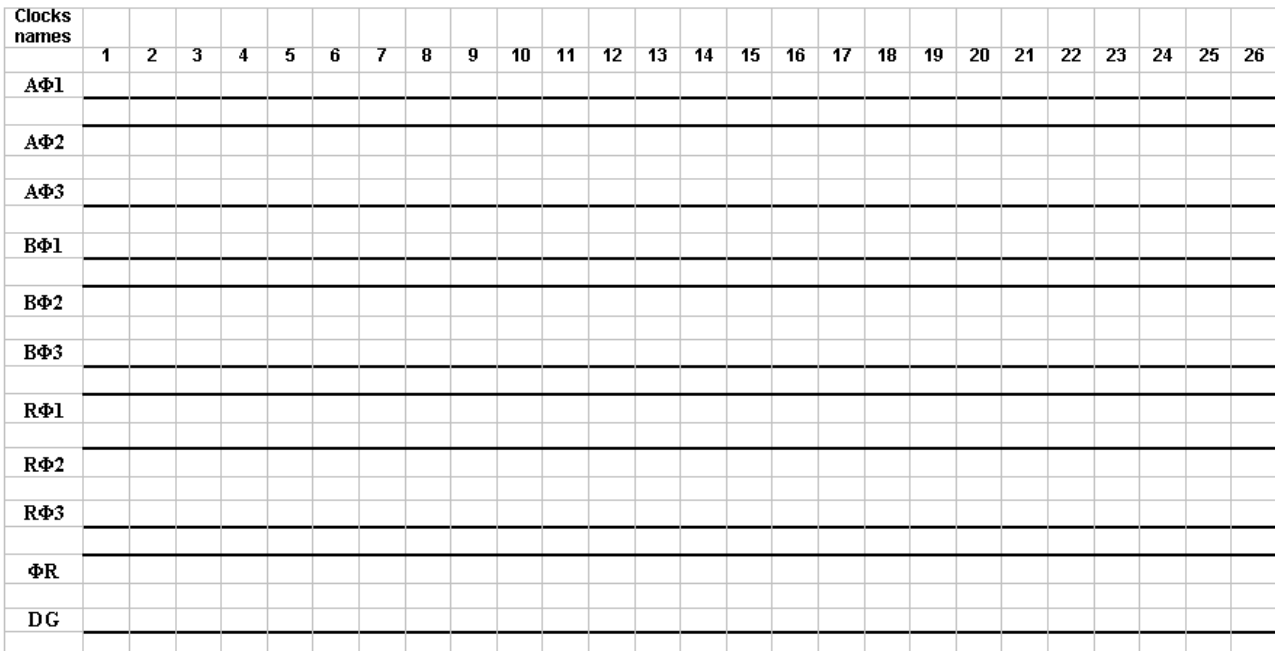
Fonction Line move without Dump :



Fonction Readout :



Fonction Idle :



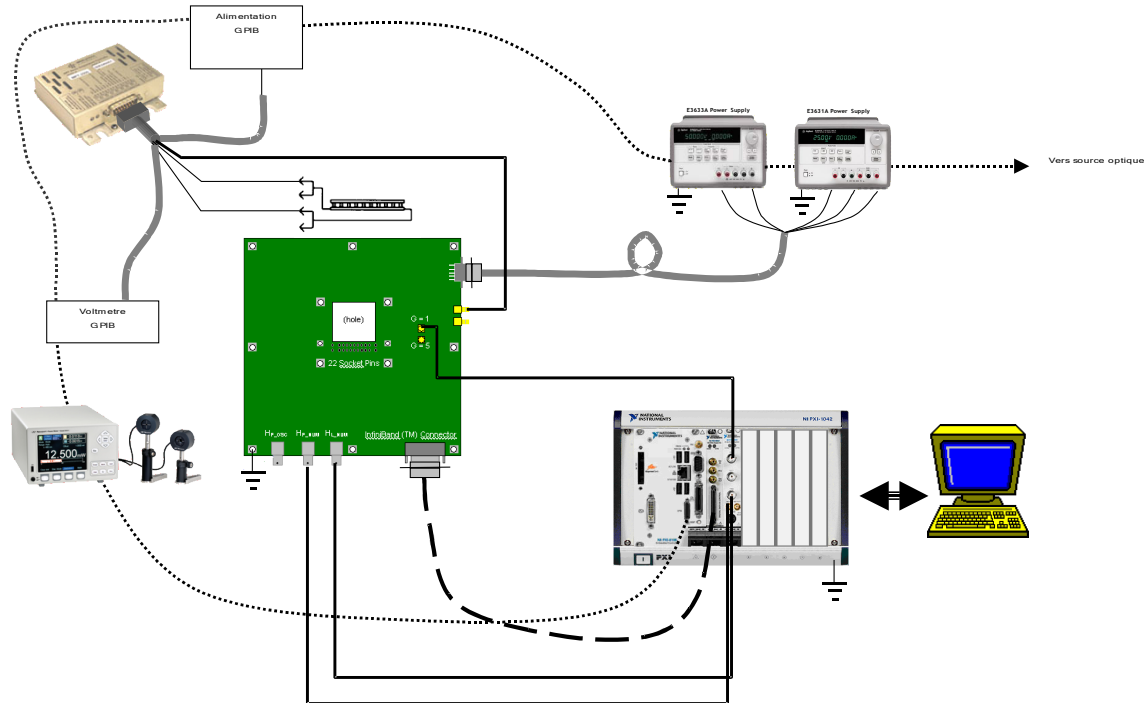
Séquencement full frame mode :

Loop #High	Loop #Low	Function	Detail	Elementary time	Total duration	Total duration	Function	Frame period	T=0
576		Frame transfert	Image to store region	2,12E-06	1,22E-03	1,22E-03	FRAME TRANSFER	5,4578E-01	Elementary Time
586	1	Line move w/o dump	line 1 to 576	2,12E-06	1,22E-03	4,98E-01	READOUT		
	407	Readout	microband readout	2,12E-06	4,97E-01				
576		Frame transfert	Image to store region	2,12E-06	1,22E-03	1,22E-03	CLEAR IMAGE AREA		
576		Line move with dump gate and dither	dump of unused lines	2,12E-06	1,22E-03	1,321E-03			
47		Dump	duration to dump completion	2,12E-06	99,64E-06	42,78E-03	DUMP (INTEGRATION TIME)		
576		Frame transfert	Image to store region	2,12E-06	1,22E-03				
576		Line move with dump gate and dither	dump of unused lines	2,12E-06	1,22E-03	42,78E-03	DUMP (INTEGRATION TIME)		
47		Dump	duration to dump completion	2,12E-06	99,64E-06				
19556		Idle	Idle function	2,12E-06	41,46E-03				
				Frame Period	5,4578E-01		FRAME TRANSFER	5,4578E-01	
							READOUT		
							CLEAR IMAGE AREA		
							FRAME TRANSFER		
							DUMP (INTEGRATION TIME)	5,4578E-01	
				Frame Period	5,4578E-01		FRAME TRANSFER		
							READOUT		
							CLEAR IMAGE AREA		
							FRAME TRANSFER	5,4578E-01	
							READOUT		
							CLEAR IMAGE AREA		
							FRAME TRANSFER		
							DUMP (INTEGRATION TIME)		

Séquencement nominal mode :

SUMMARY OF BINNING MODE SEQUENCING						
Loop #High	Loop #Low	Function	Detail	Elementary time (s)	Total duration (s)	
576		Frame transfer	Image to store region	2,12E-06	1,221E-03	4,988E-01
130	1	Line move with dump	Dump 130 lines	2,12E-06	2,756E-04	
	407	Readout	Readout of the shift register	2,12E-06	1,122E-01	
1	1	Line move without dump	One line moved	2,12E-06	2,120E-06	
	407	Readout	Readout single line	2,12E-06	8,628E-04	
1	2	Line move without dump	Binning of two lines	2,12E-06	4,240E-06	
	407	Readout	Readout "binning lines"	2,12E-06	8,628E-04	
173	1	Line move with dump	Dump 130 lines	2,12E-06	3,668E-04	
	407	Readout	Readout of the shift register	2,12E-06	1,493E-01	
1	1	Line move without dump	One line moved	2,12E-06	2,120E-06	
	407	Readout	Readout single line	2,12E-06	8,628E-04	
1	2	Line move without dump	Binning of two lines	2,12E-06	4,240E-06	
	407	Readout	Readout "binning lines"	2,12E-06	8,628E-04	
173	1	Line move with dump	Dump 130 lines	2,12E-06	3,668E-04	
	407	Readout	Readout of the shift register	2,12E-06	1,493E-01	
1	1	Line move without dump	One line moved	2,12E-06	2,120E-06	
	407	Readout	Readout single line	2,12E-06	8,628E-04	
1	2	Line move without dump	Binning of two lines	2,12E-06	4,240E-06	
	407	Readout	Readout "binning lines"	2,12E-06	8,628E-04	
91	1	Line move with dump	Dump 130 lines	2,12E-06	1,929E-04	
	407	Readout	Readout of the shift register	2,12E-06	7,852E-02	
576	1	Frame transfer	Image to store region	2,12E-06	1,221E-03	2,542E-03 TI = 44ms1
576	1	Line move with dump	dump to clear image area	2,12E-06	1,221E-03	
47	1	Dump	duration to dump completion	2,12E-06	9,964E-05	
576	1	Frame transfer	Image to store region	2,12E-06	1,221E-03	
576	1	Line move with dump	dump to clear image area	2,12E-06	1,221E-03	
47	1	Dump	duration to dump completion	2,12E-06	9,964E-05	
19556	1	Idle	Idle time to integration time 42,78ms	2,12E-06	4,146E-02	
				TOTAL	5,434E-01	

Annexe 6 : Schéma de câblage du banc radiométrique.



Annexe 7 : Schéma de connection pin à pin pour la régulation thermique.

