

Vorderingsverslag

27 november 2020

Silicon Tracker Endcap for the upgraded CMS experiment at the High-Luminosity LHC at CERN

De Large Hadron Collider (LHC) te CERN is de hoogste prioriteit van de Europese deeltjesfysica gemeenschap om vooruitgang te maken in het onderzoek naar de kleinste bouwstenen van de materie. Belgische onderzoeksgroepen zijn reeds vanaf eind vorige eeuw actief bij eerst het ontwerpen en bouwen van de CMS detector nabij de LHC, tot vandaag het onderhouden van dit experiment en het uitvoeren van fundamenteel onderzoek. Later dit decenium begint de High-Luminosity LHC (HL-LHC) fase waarvoor een vernieuwde of ge-upgrade CMS detector nodig is. Binnen de internationale CMS collaboratie nemen de Belgische instellingen het voortouw om een voorwaartse Silicon Tracker Endcap te bouwen. Deze is essentieel voor het onderzoek en komt overeen met de van ons verwachte bijdrage aan de opbouw van deze vernieuwde CMS detector. Dit “Hercules”-project voorziet in de financiële bijdrage om dit project te realiseren, samen met de personeelsbijdragen voorzien in een ondertussen goedgekeurd en lopend FWO IRI project (2019-2022).

Betrokken Belgische universiteiten:

Vrije Universiteit Brussel
Universiteit Antwerpen
Universiteit Gent
Université Libre de Bruxelles
Université Catholique de Louvain



VRIJE
UNIVERSITEIT
BRUSSEL



Universiteit
Antwerpen



Context van het project

Met de huidige Large Hadron Collider (LHC) te CERN worden proton botsingen gecreëerd bij de hoogste energieën die we in onze laboratoria kunnen maken. De veelvoud aan deeltjes die ontstaan in deze botsingen worden met specifiek ontworpen deeltjesdetectoren opgemeten. De Compact Muon Solenoid (CMS) detector is diegene waar de Belgische instellingen aan bijdragen en toelaat om baanbrekend onderzoek te verrichten. Zo hebben we in 2012 het Brout-Englert-Higgs deeltje kunnen ontdekken, wat wereldwijd erkend is als een unieke doorbraak.

De botsingsdata die we in de huidige fase van het LHC programma zullen verzamelen sinds 2010 en tot tenminste 2024 laat een bijzonder ruime waaier aan onderzoeksmogelijkheden toe. Dit vertaalt zich in ongeveer 100 peer-reviewed publicaties per jaar in toptijdschriften door de internationale CMS Collaboratie. Om het recent ontdekte Brout-Englert-Higgs deeltje nauwkeuriger te bestuderen is echter veel meer botsingsdata nodig. De volgende fase die door het CERN werd goedgekeurd is om vanaf ongeveer 2027 tot 2037 de deeltjesversneller dermate te verbeteren dat we elk jaar eenzelfde hoeveelheid data kunnen verzamelen als tijdens de volledige eerste fase van de LHC tussen 2010 en 2024. Dit is de zogenaamde High-Luminosity LHC fase of HL-LHC.

Om deze botsingen op een equivalente wijze op te meten is een vernieuwde en verbeterde CMS detector nodig. Vooral de detector die de geladen deeltjes opmeet moet volledig herzien worden. Op basis van een nieuw ontwerp van deze Silicon Tracker kunnen we ook in de tweede fase met eenzelfde performantie de botsingen bestuderen. Dit ontwerp werd na grondige peer review goedgekeurd door de relevante internationale instanties [CERN-LHCC-2017-009].

Binnen de CMS Collaboratie hebben de Belgische instellingen als consortium het vertrouwen gekregen, en nu ook de verantwoordelijkheid, om een van de twee sluitstukken (of Endcaps) van de Silicon Tracker te bouwen. Dit ambitieus project is lopende in onze laboratoria, en omvat niet alleen de constructie of assemblage van de detectie elementen, maar ook het grondig testen van de precisie en performantie van de detector componenten.

De belangrijkste contracten voor de aanschaf van de onderdelen werden in de zomer van 2019 ondertekend tussen CERN en Hamamatsu Photonics (Japan). Het betreft de levering van de silicium sensoren die het detectiemedium zijn in de duizenden detectiemodules die uiteindelijk de Silicon Tracker vormen. Dit bijzonder brede contract omvat niet alleen de onderdelen voor de constructie in België, maar ook deze voor vele andere internationale partners in zowel de CMS collaboratie alsook de ATLAS collaboratie te CERN. Hamamatsu Photonics is het enige bedrijf wereldwijd dat deze onderdelen kan leveren met de door ons gevraagde specificaties. Het contract omvat ook leveringstermijnen, welke een vertraging introduceren in de start van het constructie project en dus een kortere constructie periode (zo ook voor andere projecten in dezelfde internationale context). Hiermee kunnen we rekening houden en opvangen in onze organisatie. De start van de HL-LHC fase te CERN zou ook met een of meerdere jaren verschoven kunnen worden, bijvoorbeeld en onder andere door de complexe impact van COVID-19 op het schema van dit internationaal project. Dit zal geen impact hebben op de wetenschappelijke kwaliteit en de wetenschappelijke

opportuniteiten die we zullen creëren met het CMS experiment in de HL-LHC fase. Het CERN management zal weldra de impact op de tijdschema's onderzoeken en bespreken.

De overgang van het FWO Big Science "CMS project" (2014-2018) naar het FWO IRI "CMS project" (2019-2022) heeft plaatsgevonden van het jaar 2018 naar 2019. Dit nieuwe FWO IRI "CMS project" omvat de operationele kosten voor de deelname van Vlaamse onderzoeksgroepen aan het CMS experiment, alsook de kost voor het aanwerven van technisch personeel voor de constructie van de nieuwe Silicon Tracker Endcap. De som beschikbaar aan de drie Vlaamse universiteiten is samen 225k EUR per jaar, en te gebruiken tot het jaar 2024.

De internationale context van het project werd beschreven in een vorig vorderingsverslag, inclusief de ondertekende documenten tussen relevant partijen. Als gevolg hiervan, en zoals voorzien, werd een eerste schijf van het budget overgeschreven aan het CERN, i.e. 518k EUR per deelnemend Vlaams instituut UAntwerpen, UGent en VUB. Dit komt overeen met de budgetten in categorie a.2 ontvangen met de eerste twee schijven in de context van dit project (2018 en 2019). Ook onze Waalse partners hebben reeds hun eerste bijdragen overgemaakt aan het CERN (zie vorig rapport).

De lokale infrastructuur voor dit project werd uitvoerig beschreven in een vorige rapportering. De focus in 2020 was om eerste prototype detectormodules correct te assembleren. Het vorige rapport omvatte een beschrijving van de nodige stappen om tot prototype detectormodules te komen. In dit rapport hebben we het genoeg om te rapporteren over de succesvolle resultaten.

Het spreekt voor zich dat COVID het werk vertraagde. We hebben waar mogelijk proactief oplossingen gevonden om toch vooruitgang te realiseren in deze complexe tijden.

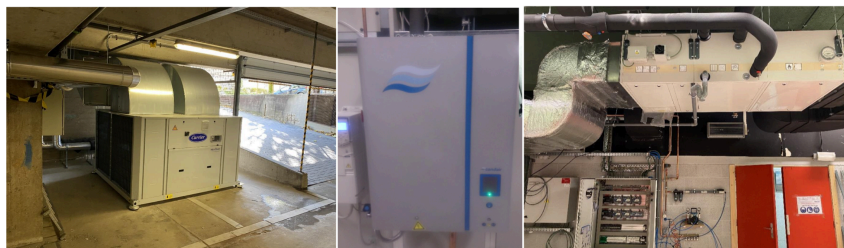
Eerste assemblages van prototype detectormodules

Uit vorig verslag: “Doorheen 2020 zullen één voor één de finale componenten van de sensors, uitleeselektronica, en dergelijke beschikbaar komen uit het centrale CMS tracker project. In het stapsgewijs integreren hiervan, en voor het ontwikkelen en testen van de capaciteit van onze assemblagelijijn, voorzien we in totaal drie functionele modules en een tiental “dummies” te assembleren in 2020. In 2021, voor de integratie van de finale componenten en de oplevering van ons productiecentrum, voorzien we assemblage van nog vijf functionele detectormodules, en dummies naargelang de nood, alvorens de eigenlijke productie start.”

De impact van de restricties opgelegd om de verspreiding van COVID tegen te gaan, is dusdanig dat de toegang tot de werkruimte in 2020 sterk werd gereduceerd. Sinds maart 2020, hebben universiteiten de norm van thuiswerken gehanteerd. Om voldoende afstand te garanderen tussen onderzoekers hebben we norm gehanteerd van maximaal een persoon in de clean room, en werken we met camera's om ervoor te zorgen dat de andere teamleden de werkzaamheden kunnen opvolgen vanop afstand. Het in vorig verslag aangegeven aantal dummy detectormodules hebben we in deze omstandigheden uiteraard niet kunnen bewerkstellingen. We hebben succesvol twee dummy modules kunnen bouwen en een functionele module is momenteel in opbouw. Wel hebben we de periode optimaal kunnen gebruiken om de clean room van een upgrade te voorzien, alsook vele van onze instrumenten stap voor stap te optimaliseren in functie van een efficiënte assemblagelijijn. In dit rapport beschrijven we naast de instrumentatie vooral de opbouw van de bovengenoemde dummy detectormodules. Het is belangrijk om een bevestiging te krijgen dat de verschillende opbouwstappen juist worden uitgevoerd alvorens we met vol vertrouwen kunnen overgaan naar het opbouwen van de duizenden finale detector modules met hun reële componenten.

Instrumentatie

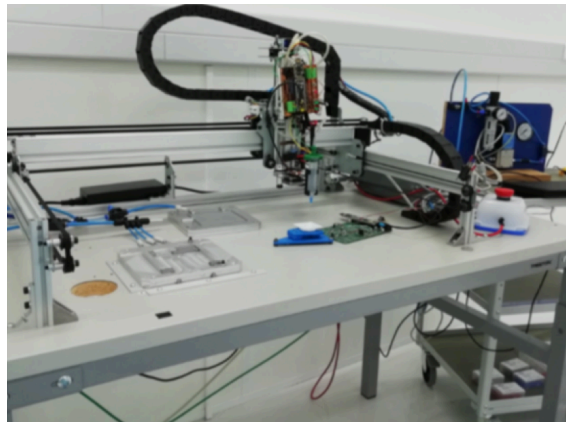
De clean room aan de VUB heeft een belangrijke upgrade gekregen in 2020 om nog beter de vochtigheid en temperatuur in de ruimte te kunnen regelen en controleren. Ook werden nieuwe systemen geïnstalleerd voor droge perslucht en vacuüm systemen. Hiermee komen we beter tegemoet aan de specificaties voor de detector instrumenten die we opbouwen.



Van links naar rechts: nieuwe koelinstallatie, betere regeling voor vochtigheid en het systeem voor droge perslucht

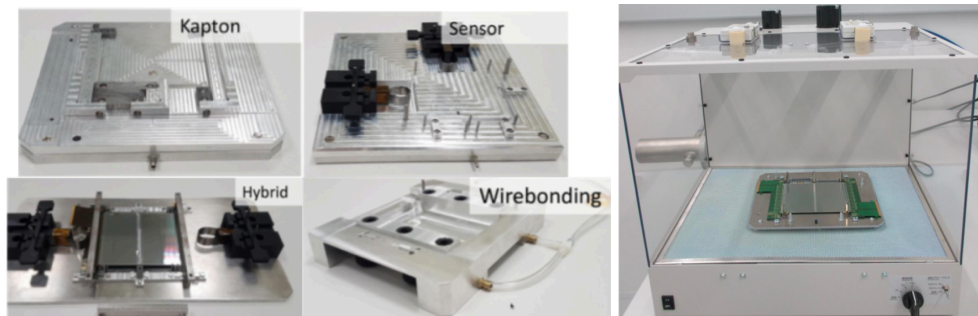
Verschillende nieuwe instrumenten werden, volgens plan, toegevoegd en reeds geïnstalleerde instrumenten werden verder geoptimaliseerd voor gebruik. Een voorbeeld is de semi-automatische lijmrobot gebaseerd op een gantry-systeem om de

lijm met de juiste dosis heel precies op de juiste posities te verdelen. Met laser sensoren en HD-camera's, inclusief een specifiek patroonherkenningsalgoritme, hebben we dit kunnen perfectioneren.



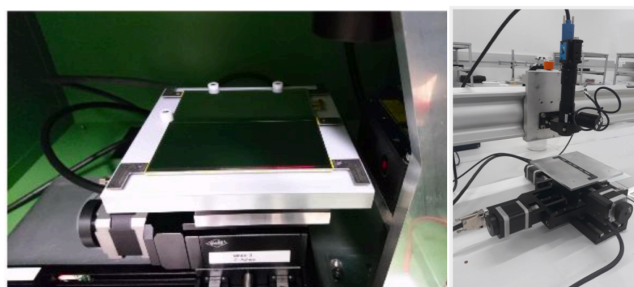
Semi-automatische lijmrobot.

De verschillende mechanische precisieplaten voor de assemblage werden verder ontwikkeld en getest. Ook hebben we een toestel geïntegreerd in het assemblageproces waarmee we de verschillende detectorcomponenten grondig reinigen en alle mogelijke elektrische ladingen verwijderen van de oppervlakten. Deze “duster box” maakt de componenten gebruiksklaar in ongeveer 10 seconden.



Links een verzameling van precisieplaten voor de assemblage, en rechts de “duster box” voor het voorbehandelen van de detectorcomponenten.

Een nieuw systeem voor het uitmeten van de geassembleerde detectormodules werd ontworpen en geïnstalleerd. Met deze geometrische metrologie bekomen we een precisie van enkele micrometer. Hiervoor beschouwen we in de toekomst additionele lasersystemen die een “scan” kunnen maken van de detectormodule waarmee we de geometrische precisie kunnen nagaan.



Metrologisch systeem.

Na de assemblage van detectorcomponenten en uitleeselektronica moeten we elk opgebouwd detectorsysteem testen op een efficiënte en correcte functionaliteit. Hiervoor hebben we een specifiek systeem ontworpen en ondertussen ook gebruiksklaar gemaakt.



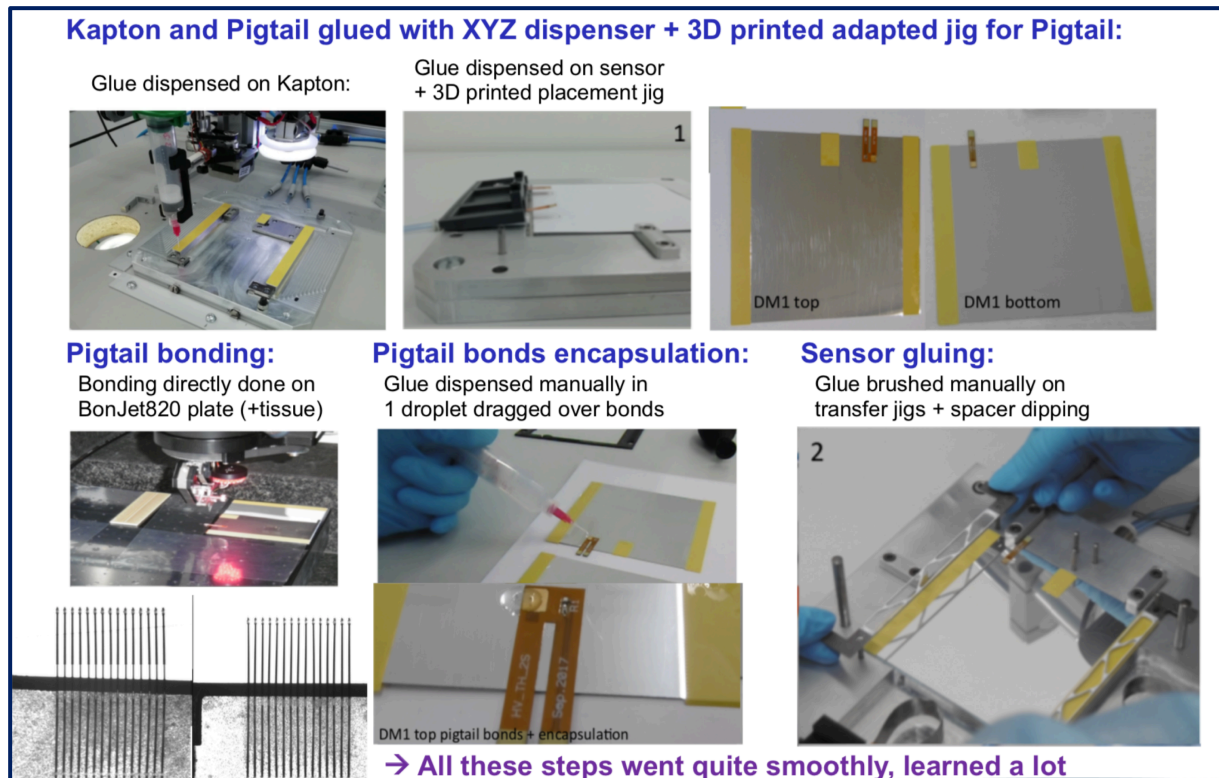
Opstelling voor het testen van de uitleesfunctionaliteit van de elektronica en de detectormodule.

In de finale deeltjesdetector nabije de deeltjesversneller te CERN zal ons instrument operationeel zijn bij een temperatuur van -30°C . We moeten ervoor zorgen dat we elk van onze detectormodules testen bij verschillende temperaturen in een zogenaamd “burn-in” systeem. Dit systeem hebben we nog niet in huis, maar de infrastructuur van de clean room is nu aangepast aan de specificaties van dergelijk systeem zoals ontwikkeld in de USA.

Opbouw van dummy module #1 (januari tot maart 2020)

Een eerste detectormodule werd geassembleerd in de eerste maanden van 2020. De lijmrobot werd gebruikt met hoge precisie en een juiste dosis van de hoeveelheid lijm (zie gele kapton stroken op de figuur). Het exact positioneren van de kapton stroken gebeurt aan de hand van de precisieplaten die hiervoor ontworpen werden. Een specifieke lijmmer zorgt heel nauwkeurig voor de juiste hoeveelheid van de verschillende componenten in de finale lijmsubstantie. Nadien gebruiken we 3D geprinte structuren om heel nauwkeurig de zogenaamde “pigtaills” te verbinden met de silicium sensoren (zie volgende foto's in de figuur). Via deze “pigtaills” zal een spanningsverschil aangelegd worden over de silicium sensor om deze kunnen gebruiken als geschikt detectiemedium voor deeltjes uit de botsingen nabij de deeltjesversneller te CERN. Om dit te creëren verbinden we de sensor met de “pigtail” door middel van specifieke draadjes aangebracht door het bonding toestel (zie volgende foto op de figuur). Over deze kleine draadjes brengen we een bescherm laag aan door middel van een specifieke lijmsubstantie. Elke detectormodule heeft twee lagen silicium sensoren die op een afstand van enkele millimeter gehouden worden. Deze afstand moet heel nauwkeurig en constant zijn over de detectormodule. Om deze afstand heel precies te verzekeren, wordt een “spacer” aangebracht en vastgemaakt met lijm tussen beide sensoren. Ook voor deze delicate stap in het proces gebruiken

we specifieke mechanische structuren (zie laatste foto op de figuur), en brengen we de lijm (momenteel) manueel aan. Daarna lijmen we ook de tweede sensor van de module. Uiteraard moeten we na elke stap in het proces de lijm laten drogen en op de juiste manier laten uitharden. We leren dat dit beter gaat bij temperaturen enkele graden hoger dan kamertemperatuur. Dit is een ervaring die we in een volgende periode verder zullen bekijken.



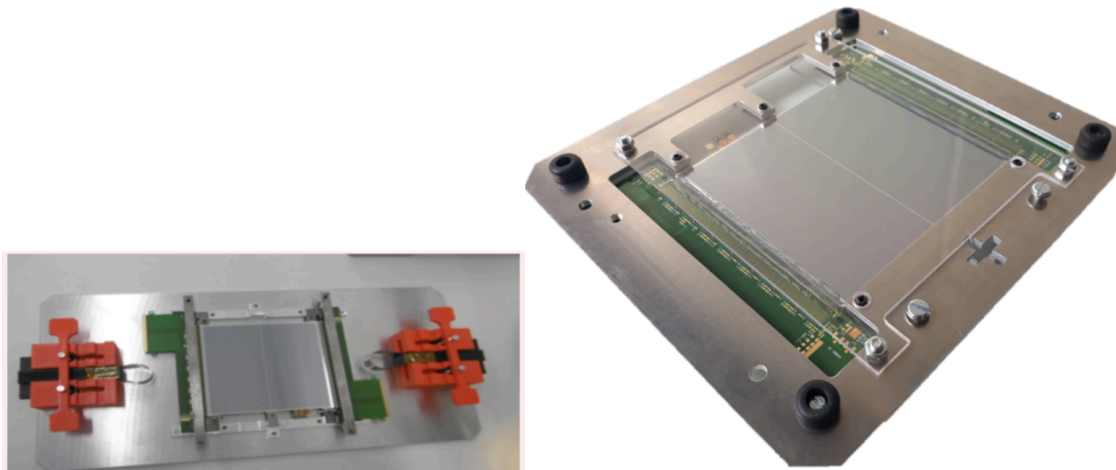
Overzicht van verschillende stappen in het bouwproces van een detector module.

De precisie van deze eerste dummy module hebben we kunnen bestuderen met een microscoop. De geometrische precisie van onze module zit ruimschoots binnen de vooropgestelde specificaties. We concluderen dat deze eerste assemblage succesvol was betreft geometrisch specificaties.

In een volgende stap lijmen we op de module ook de uitleeselektronica. Het juist uitlijnen van de uitleeslijnen van de silicium sensoren met de connecties op de uitleeselektronica is cruciaal. Ook hiervoor gebruiken we een precieze mechanische structuur (zie foto's in de figuur hieronder). De ervaring met het eerste ontwerp van deze structuur heeft ons inzicht gegeven waarmee we het ontwerp kunnen verbeteren.

Nadien werden een voor een de detectiekanalen van de sensoren met behulp van de "bonding" machine verbonden met de uitleeskanalen van de elektronica. Deze test werkte vlot, en heeft ons inzichten gegeven waar we de softwareprogramma's van het bonding toestel moeten verbeteren.

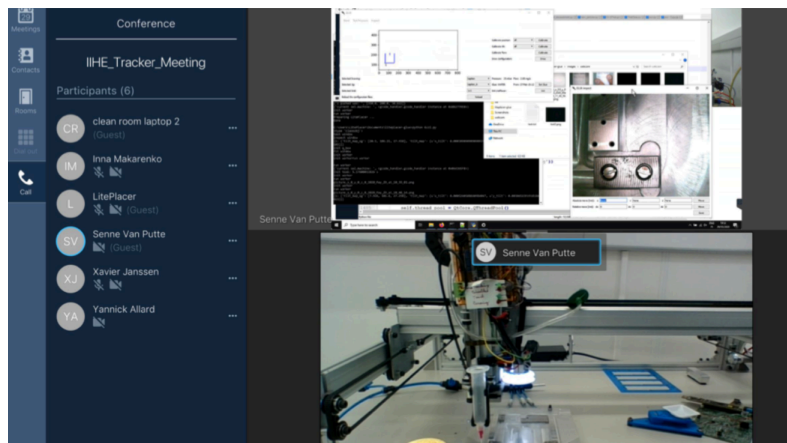
Het opbouwproces van deze eerste dummy module was bijzonder nuttig en de opzet om de punten te identificeren voor verbetering is geslaagd.



De mechanische structuren voor het lijmen van de uitleeselektronica.

Opbouw van dummy module #2 (juni en juli 2020, COVID periode)

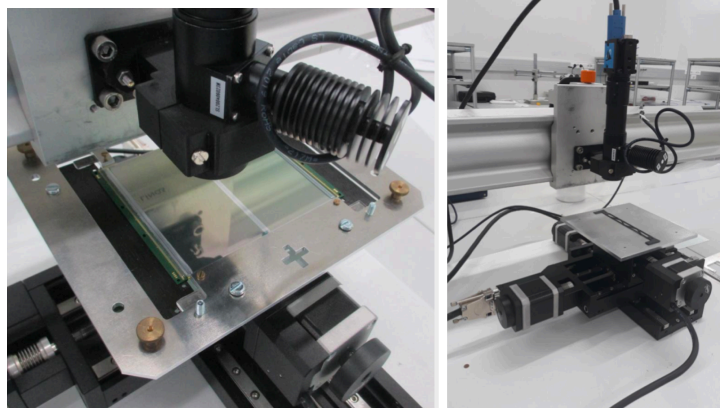
Na de COVID lockdown hebben we vanaf mei onze activiteiten terug kunnen starten, en de voorbereiding getroffen om een volgende dummy module te bouwen, en waar nodig verbeteringen aan te brengen ten opzichte van de opbouw van de eerste dummy module. De universiteiten installeerden echter de norm om van thuis te werken, en hadden een verstrengde regelgeving met betrekking tot experimentele onderzoeksruimten op de campus. Met een persoon in de clean room en collega's die volgen op afstand via een speciaal hiervoor ontworpen camerasysteem konden we stap voor stap vooruitgang maken.



Een impressie van het werk tijdens de COVID-periode.

Ondertussen hadden we het systeem opgebouwd voor het opmeten van de geometrische precisie van de detector module. Het betreft een USB-camera gemonteerd op een telecentrische lens met coaxiale verlichting waarmee we de verplaatsbare module kunnen observeren op een gemotoriseerd platform dat heel precies in drie richtingen (XYZ) kan bewegen. Hiermee konden we niet alleen de precisie van de finale module opmeten, maar ook de precisie van de initiële componenten, o.a. de “spacer” die we lijmen tussen de twee sensoren van een detectormodule hebben we kunnen opmeten met een precisie van 2 micrometer en ook de stukken kapton waarvoor we specifieke beeldreconstructie software gebruikten.

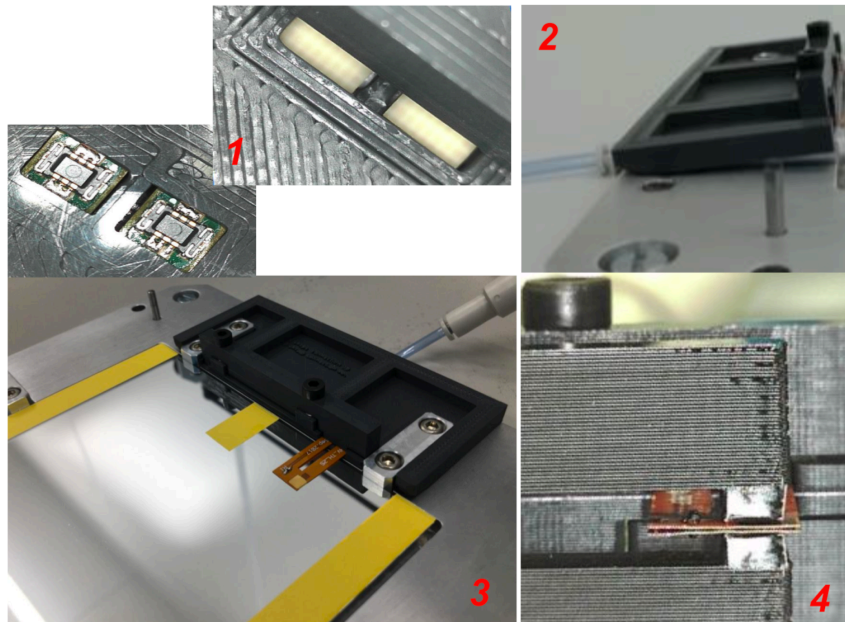
Stap voor stap zullen we dit onderdeel van het opbouwproces ook zoveel mogelijk automatiseren.



Opmeting van de fabricatie precisie van de componenten.

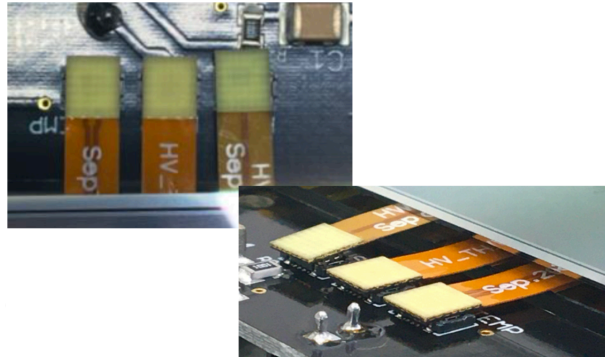
Verschillende aspecten van het opbouwproces werden geoptimaliseerd naar aanleiding van de ervaring genoteerd tijdens de assemblage van de eerste dummy module. Dit geeft aanleiding tot een meer robuust opbouwproces. Niettegenstaande de verbeteringen werden ook nu nog enkele aspecten genoteerd waar optimalisatie mogelijk is. Dit is uiteraard de intentie van deze testen met dummy componenten, en het succes van deze testen moet men zoeken in hoe goed we het proces leren optimaliseren, o.a. nauwkeurigheid, snelheid, reproduceerbaarheid.

We hebben in deze tweede opbouw ook nieuw ontworpen elementen kunnen testen, bijvoorbeeld nieuwe 3D geprinte structuren om de componenten preciezer en beter op hun plaats te houden (voorbeeld met “pigtail” op onderstaande figuur).



Overzicht van enkele nieuwe 3D geprinte onderdelen: (1) extensie voor de “pigtails”, (2) extensie van de structuur onder een kleine hoek voor betere positionering van de “pigtail”, (3) het neerkomen van de “pigtail” op de sensor en (4) samendrukken van de “pigtail” op de sensor.

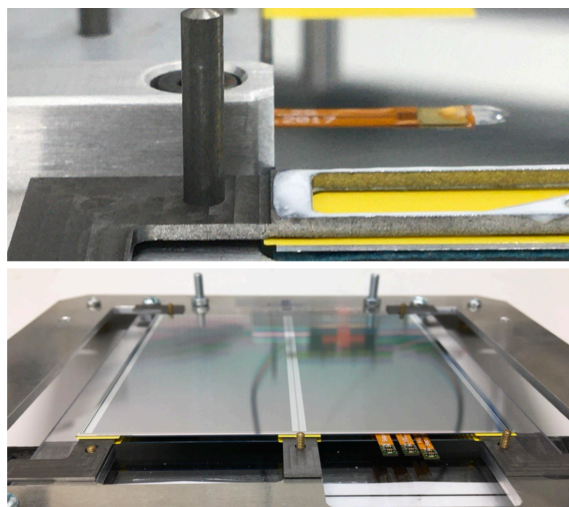
Het juist uitlijnen van de “pigtails” met de connecties op de uitleeselektronica borden is belangrijk, en we leren dat we dit nog moeten verbeteren, zie figuur hieronder. Om hieraan tegemoet te komen zal een nieuwe mechanische structuur ter ondersteuning van deze actie in het opbouwproces ontwikkeld worden.



De uitlijning van de “pigtails” met de connecties op de elektronikaborden.

Helaas hebben we in het proces ook een echte crash gehad met ons nieuw bonding toestel. Dit was waarschijnlijk het gevolg van een fabricagefout of onvolledigheid. Belangrijk voor het project is dat we dit mochten ontdekken, en vooral oplossen, bij het opbouwen van testcomponenten, en niet bij de niet vervangbare reële componenten. De samenwerking met de technici van de fabrikant van het toestel was optimaal en geeft nu aanleiding tot een duidelijke verbetering van het toestel, niet alleen voor de betrouwbaarheid maar ook voor het monitoren van mogelijke fouten in de toekomst. Het toestel is nu terug operationeel in optimale staat, en dus eigenlijk zelfs in een verbeterde toestand.

Voor het beschermen van de “pigtail” connectie van de sensor hebben we een specifiek lijmttoestel gebruikt waarmee we bijzonder goede ervaringen mogen noteren. Bijgevolg zullen we dit aspect van het proces zoveel mogelijk automatiseren met een automatische lijmspuit. Ook het proces om zo veilig mogelijk de beschermende lijm aan te brengen werd geoptimaliseerd met zeer goede resultaten.



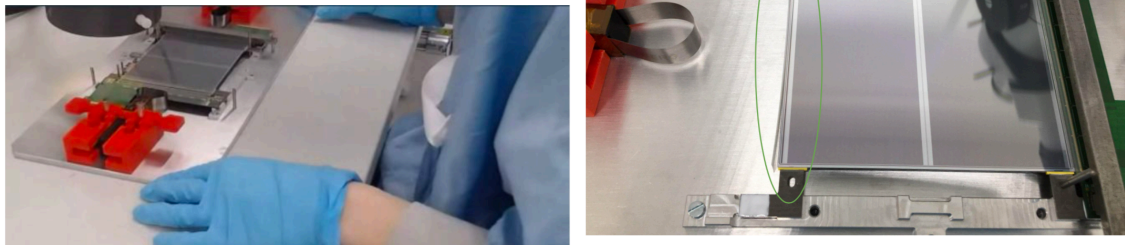
De twee sensoren van een detector module enkele millimeters van elkaar.

Het opbouwen van de “sandwich” van de twee sensoren enkele millimeters van elkaar ging deze tweede keer zeer goed. De uniformiteit van de dikte van de lijmlaag hebben

we goed onder controle, wat aanleiding geeft tot een uitstekende uitlijning van beide sensoren essentieel voor de finale functionaliteit in het deeltjesfysica onderzoek.

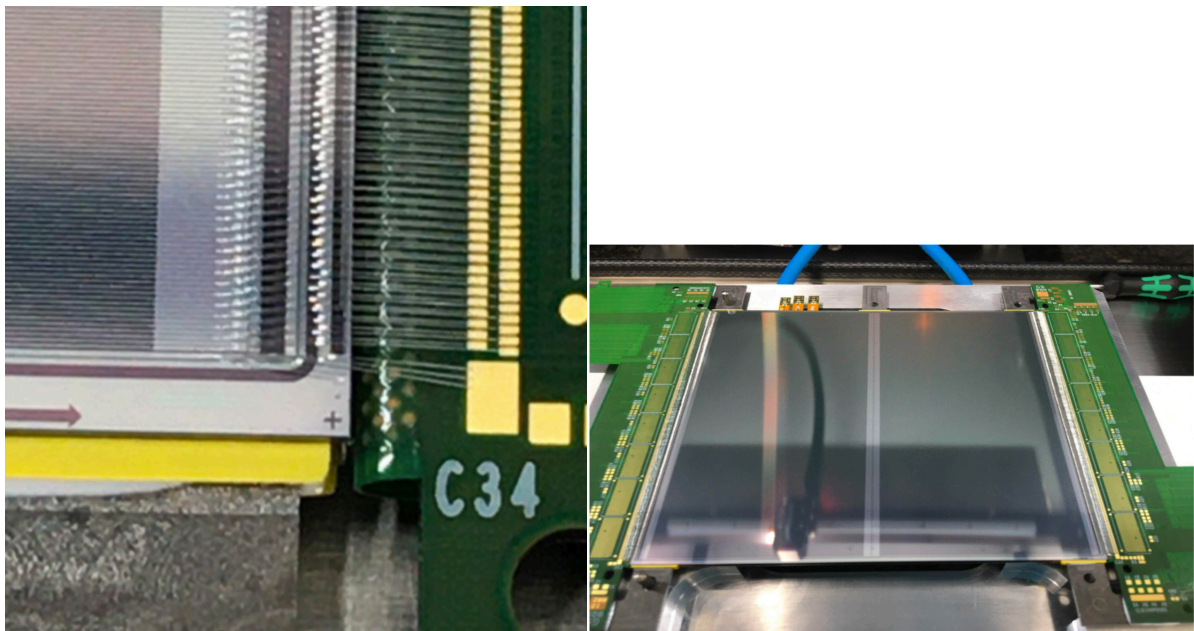
De opgebouwde module hebben we opgemeten met ons nieuw opmeetsysteem met bijzonder hoge resolutie. De resultaten zijn bijzonder goed en zeer ruim binnen de verwachte specificaties essentieel voor het toekomstig deeltjesfysica onderzoek dat we met dit instrument zullen uitvoeren.

In een volgende stap werd de uitleeselektronica op de module gelijmd. Tijdens deze test konden we nog enkele nodige verbeteringen noteren. Het ontwerp van de mechanische structuren zullen we hieraan aanpassen.



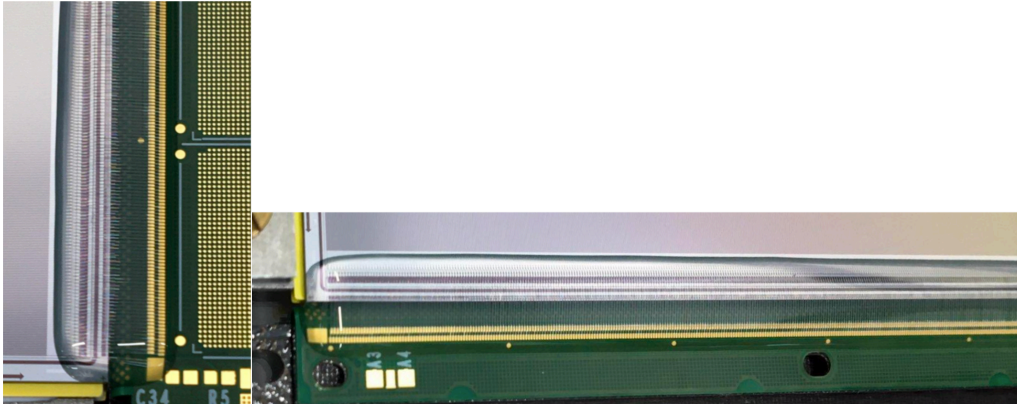
Mechanische structuur voor het lijmen van de elektronica.

Het elektrisch connecteren van de sensoren met de uitleeselektronica door middel van het bonding toestel heeft ons de mogelijkheid gegeven om deze procedure verder te optimaliseren. Het resultaat was zeer goed, zie foto hieronder.



Resultaat van het elektrisch verbinden van de sensoren en de elektronica.

Ook deze fijne elektrische draden werden verder beschermd door een laagje specifieke lijm met behulp van de lijmrobot. Het resultaat was zeer goed, zie foto hieronder.



Resultaat van het aanbrengen van een beschermende laag lijm over de elektrische connecties tussen sensoren en elektronica.

Huidige plannen

Rekening houdend met de ervaring ontwikkeld tijdens de opbouw van de eerste twee dummy modules, hebben we onze procedures en toestellen kunnen optimaliseren. Dit geeft ons het vertrouwen om nu in november en december 2020 voor het eerst te werken aan de bouw van een eerste detector module met functionerende componenten. Dit zal ons toelaten om ook het elektrisch functioneren van de opgebouwde module te testen, en waar mogelijk te verbeteren.

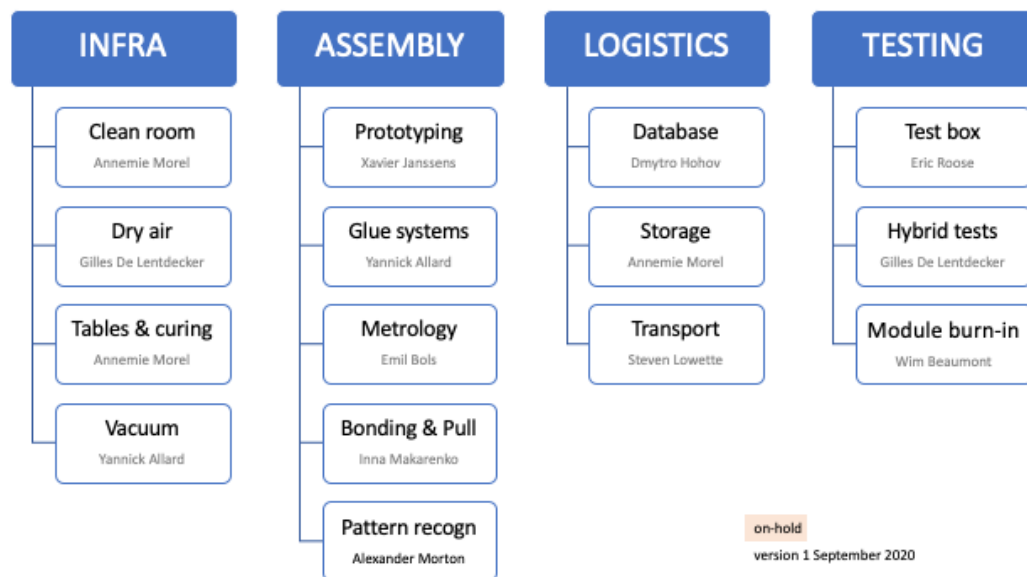
In 2021 verwachten we meerdere prototype detectormodules te kunnen bouwen alsook verschillende dummy modules om de productielijn uit te bouwen voor meerdere modules in parallel. Het plan is om het ontwerp van de lijmrobot te finaliseren alsook de procedure voor het drogen van de lijm bij hogere temperaturen te ontwikkelen en te installeren. De mechanische structuren voor de assemblage zullen we perfectioneren en de elektrische testsystemen voor de afgewerkte modules zullen we voor het eerst in gebruik nemen.

Conclusie

Niettegenstaande de COVID pandemie in 2020 onze vooruitgang moeilijk maakte, en nog steeds maakt, zijn we er toch in geslaagd belangrijke stappen te zetten in 2020. De opbouw van twee dummy modules was succesvol. We hebben geleerd wat we initieel wilden leren, en bouwen nu aan de eerste functionerende module.

Organisatie

Het team voor de productielijn te Brussel van detectormodules wordt vanuit dagdagelijks oogpunt geleid door Xavier Janssens (UAntwerpen) en Pascal Vanlaer (ULB), met Jorgen D'Hondt (VUB) als project- en budget coördinator. Verschillende werkgroepen werden opgericht in vier categorieën: infrastructuur, assemblage, logistiek, testen. Elke werkgroep verantwoordelijke organiseert op regelmatige basis een overleg met alle betrokkenen bij het thema van de werkgroep. Zie schema hieronder. Deze organisatie structuur was bijzonder nuttig om efficiënt vooruitgang te maken in deze COVID periode.



Daarenboven is er wekelijks een algemeen vergadermoment waar vooruitgang wordt besproken over alle werkgroepen en waar de volgende stappen worden gepland.

Enkele malen per jaar, naargelang de nood, worden ook Belgische consortium vergaderingen gehouden, waar integratieaspecten van de activiteiten in alle instituten worden bekeken, (middel)lange termijn planning wordt afgestemd, en budget planning wordt gecontroleerd.

Binnen het CMS tracker experiment communiceren we internationaal via verschillende kanalen. Zo zijn er onder andere werkgroepen met tweewekelijkse vergaderingen omtrent zowel elektronica componenten, als data acquisitie, test systemen, en detectormodules. Naargelang de focus van de mensen in ons team wonen wij deze vergaderingen bij (meestal via videoconferentie tools) en rapporteren onze vooruitgang. Ook in meer centrale vergaderingen binnen het project, bijvoorbeeld tijdens de “CMS tracker weken” enkele malen per jaar, wordt regelmatig verslag uitgebracht vanuit ons team of breder.

Op managementniveau in het CMS tracker project, tenslotte, hebben we een vertegenwoordiging in het CMS Tracker Institution Board, het belangrijkste beleidssturend orgaan, en ook in de CMS Tracker Finance Board. Het meest relevant voor dit project is de zogenaamde CMS Tracker Upgrade Steering Group dat het management van het hele project van dichtbij opvolgt, en waarin vaak zeer relevante

informatie omtrent vooruitgang, problemen, planning en budget wordt gedeeld, besproken en beslist. Hierin zetelen voor Franstalig België Christophe Delaere (UCL) en voor de Vlaamse instituten Xavier Janssens (UAntwerpen), en zij rapporteren de relevante informatie terug aan het consortium.

Financiële planning

Status quo ten opzichte van startverslag.

**Status cofinanciering van de Waalse partneruniversiteiten
(gegevens van Prof. Pascal Vanlaer (ULB) en Prof. Christophe Delaere (UCL))**

The contribution from the FNRS-IISN fund supporting the partner teams at Université Catholique de Louvain-la-Neuve (UCLouvain) and at Université Libre de Bruxelles (ULB) matches the initially-foreseen level of subsidy.

The contribution to the core cost of the CMS upgrade was granted at the level of 4.9 M€ (see initial proposal). The following invoices have already been paid to CMS:

- 489kCHF as a contribution to the CMS upgrade common fund (letter from the CMS Account Manager Kirsti Aspola – 13 December 2018)
- 1.376MCHF as a first slice of the detector costs (letter from the CMS Account Manager Kirsti Aspola – 5 November 2019)
- 2.026MCHF as a second slice of the detector costs (letter from the CMS Account Manager Kirsti Aspola – 4 May 2020)

The contribution to the equipment of the laboratories at UCLouvain and at ULB is covered by the FNRS IISN convention 4.4502.17 and its extensions. The equipment budget granted to date amounts to 614k€.

Gedetailleerde contact informatie

Vrije Universiteit Brussel – contact Prof. Jorgen D’Hondt – woordvoerder

Pleinlaan 2, 1050 Brussel

✉ jodhondt@vub.ac.be

☎ 02/6293483 & 0496/704865

Universiteit Antwerpen – contact Prof. Pierre Van Mechelen

Groenenborglaan 171, 2020 Antwerpen

✉ Pierre.VanMechelen@ua.ac.be

☎ 03/2653573

Universiteit Gent – contact Dr. Michael Tytgat

Proeftuinstraat 86, 9000 Gent

✉ michael.tytgat@ugent.be

☎ 09/2646544

Université Libre de Bruxelles – contact Prof. Pascal Vanlaer

Boulevard du Triomphe, 1050 Bruxelles

✉ Pascal.Vanlaer@ulb.ac.be

☎ 02/6293898

Université Catholique de Louvain – contact Prof. Vincent Lemaître

Chemin du Cyclotron 2, 1348 Louvain-la-Neuve

✉ Vincent.Lemaître@cern.ch

☎ 010/473241