



INSTITUTUL DE STIINTE SPATIALE

Program STAR

Contract Nr. 102 / 2013

**Calibrarea in-flight si imbunatarirea calitatii datelor HIA/Cluster
in vederea exploatarei stiintifice**

CALYPSO

II. RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC

ETAPA 1

Calibrarea absoluta a Hot Ion Analyzer (HIA)

GRUPUL DE PLASMĂ SPAȚIALĂ ȘI MAGNETOMETRIE

Decembrie 2013

RAPORT STIINTIFIC SI TEHNIC

1. Titlu proiect

Calibrarea in-flight si imbunatarirea calitatii datelor HIA/Cluster in vederea exploatarei stiintifice (CALYPSO)

(titlul propunerii: Cluster/HIA in-flight calibration and data quality improvement for scientific exploitation CALYPSO)

2. Obiective generale/specifice proiect

Obiectivele principale ale proiectului CALYPSO sint calibrarea in-flight si cresterea calitatii datelor instrumentului Hot Ion Analyser (HIA) de la bordul satelitilor Cluster. Cluster este o misiune de referinta a programului Horizon 2000 a Agentiei Spatiale Europene (ESA), fiind compusa din patru sateliti identici ce furnizeaza masuratori corelate in spatiu. Acest lucru permite, pentru prima data, studiul fenomenelor fizice in trei dimensiuni, facind posibila distinctia dintre variatile spatiale si cele temporale in plasma. Executia proiectului CALYPSO are un impact direct asupra acuratetii datelor furnizate de unul din instrumentele misiunii.

Instrumentul HIA este parte a experimentului Cluster Ion Spectrometry (CIS), avind ca obiectiv masurarea in trei dimensiuni a functiei de distributie in viteze a ionilor. Dintr-o varietate de motive (expunerea la radiatii, 'imbatrinirea' detectorilor, schimbari in parametrii de operare), eficienta de detectie a HIA se modifica in cursul misiunii, facind necesara re-calibrarea in-flight periodica. Caracterul multi-satelitar al misiunii Cluster si complexitatea echipamentelor sale stiintifice, care adesea permite masurarea aceleiasi marimi fizice cu instrumente diferite, ofera posibilitatea de a evalua cu precizie performantele HIA.

Proiectul CALYPSO acopera un spectru larg de activitati legate de calibrarea in-flight si cresterea calitatii datelor HIA. Sint incluse activitati de calibrarea standard ('calibrarea absoluta') – o sarcina care se efectueaza periodic, implicind analiza in detaliu a datelor si compararea acestora cu datele furnizate de alte experimente la bordul aceluiasi satelit sau pe sateliti Cluster diferiti. Aceasta procedura si-a dovedit eficacitatea de-a lungul misiunii, cel putin in ceea ce priveste acuratetea datelor din acele zone magnetosferice folosite pentru calibrare. Totusi, datele din alte regiuni ale plasmei investigate de Cluster indica faptul ca unele ipoteze ce stau la baza procedurii de calibrare absoluta (degradare simetrica a eficientei sectoarelor unghiulare de detectie, o dependenta energetica neschimbata de-a lungul misiunii etc) sint chestionabile. In acest sens, CALYPSO va evalua performantele HIA in diferite regiunii ale plasmei vizitate de Cluster, incluzind acelea care nu sint folosite in procedura calibrarii absolute. De asemenea, proiectul isi propune sa investigheze dependenta energetica si unghiulara a eficientei de detectie HIA, in vederea imbunatatirii procedurii standard de calibrare in-flight a instrumentului. Totodata, un alt obiectiv al proiectului este calibrarea datelor He^{++} furnizate de HIA in regiunea vintului solar.

3. Nr. etapa / Denumire etapa

Etapa 1. Calibrarea absoluta a Hot Ion Analyser

4. Obiective Etapa

Calibrarea absoluta a unei parti din datele furnizate de HIA. Punerea la puncta a programelor de calibrare si constituirea unei baze locale cu datele Cluster.

5. Rezultate planificate Etapa

Activitatile planificate in cadrul acestei Etape au fost:

- Pregatire pachet software si constituire baza de date
- Selectie intervale pentru calibrarea absoluta
- Determinare coeficienti de calibrare absoluta

6. RST - raport stiintific si tehnic in extenso – maxim 20 pagini pentru etapa intermediara

Raportul stiintific si tehnic trebuie sa cuprinda urmatoarele aspecte:

- Rezumatul etapei
- Descrierea stiintifica si tehnica, cu punerea in evidenta a rezultatelor etapei si a gradului de realizare a obiectivelor - se vor indica rezultatele si modul de diseminare a rezultatelor;

6.1 Rezumatul etapei

Pe baza metodologiei de calibrare absoluta dezvoltata in cadrul Grupului de Plasma si Magnetometrie Spatiala (GPSM), in aceasta etapa de executie a proiectului s-au calibrat in-flight o parte din datele puse la dispozitie de HIA. Valorile coeficientilor de calibrare, precum si un raport detaliat asupra modului in care acestia au fost obtinuti, au fost trimise catre Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP), Toulouse - institutia PI a experimentului din care face parte HIA, pentru validarea, implementarea in tabelele de calibrare si procesarea a datelor.

Pentru ilustrare, in prezentul raport este prezentata in detaliu calibrarea datelor furnizate in perioada Noiembrie 2010 – Iulie 2011 de catre sectiunea de sensibilitate mare a instrumentului HIA imbarcat pe Cluster 1. Etapa din acest an dedicata calibrarii absolute HIA a inclus si activitati de pregatire a pachetului de programe precum si constituirea unei baze locale de date Cluster.

6.2 Descrierea științifică și tehnică

Pregatire pachet software si baza de date.

Etapa din acest an a proiectului a inclus activitati de ajustare si up-grade a pachetului de calibrare HIA dezvoltat in cadrul Grupului de Plasma si Magnetometrie Spatiala precum si dezvoltarea unei baze de date locale cu datele Cluster relevante pentru executia CALYPSO. In mod concret:

- s-au dezvoltat si integrat rutine noi pentru transferul automat al datelor CIS (HIA si CODIF) de la serverul IRAP, generarea si filtrarea automata a ploturilor standard folosite la inspectia preliminara a datelor, citirea datelor de la alte experimente Cluster, vizualizarea simultana a datelor provenite de la mai multe instrumente
- s-a eficientizat pachetul software existent
- s-a constituit o baza de date locale cu date experimentelor CIS (CODIF si HIA), WHISPER, PEACE, RAPID de la bordul satelitilor Cluster. Cu exceptia datelor CIS, care se transfera de la institutul PI al experimentului, celelalte date se transfera de la baza de date Cluster Active Archive (CAA) a ESA.

Selectarea intervalelor de calibrare si determinarea coeficientilor de calibrare absoluta

Folosind procedura calibrarii absolute, in etapa curenta de executie a proiectului s-au calibrat urmatoarele date HIA:

- intervalul Noiembrie 2009 - Octombrie 2012, pentru satelitul Cluster1 (C1), datele furnizate de sectiunea cu sensibilitate ridicata (High Sensitivity side: HS)

- intervalul Noiembrie 2009 - Iunie 2011, pentru satelitul C1, datele furnizate de sectiunea cu sensibilitate scazuta (Low Sensitivity side: LS)
- intervalul Noiembrie 2004 - Octombrie 2005, pentru satelitul C1 si C3, datele furnizate de sectiunea LS.

Reamintim ca de la inceputul misiunii Cluster, sensorii HIA opereaza doar pe satelitul C1 si C3. In Noiembrie 2009, dupa ce aproape 10 ani a furnizat date de foarte buna calitate, instrumentul HIA de la bordul C3 nu mai este operational. Totodata, incepind cu Iunie 2011, functionarea HIA de la bordul C1 se desfasoara doar in modul magnetosferic (doar sectiunea HS), instrumentul fiind inchis atunci cind satelitul se afla in vintul solar.

Reamintim ipotezele care stau la baza procedurii de calibrare absoluta. Eficienta de detectie HIA, ca functie de energia particulei incidente E si sectorul unghiular θ implicat in detectie, este data de formula

$$\text{Eff}(\theta, E)^{-1} = \text{Norm}_\theta \cdot \text{Cheff}(\theta) \cdot (A \cdot E + B) / (T_0 + T_1 \cdot E_t + T_2 \cdot E_t)$$

Prima parte a termenului din dreapta relatiei descrie dependenta eficientei de pozitie (sau sector unghiular) cu Norm_θ reprezentind coeficienti de normalizare sectoriala (cite unul pentru fiecare sectiune de sensibilitate) iar $\text{Cheff}(\theta)$ reprezentind coeficientii ce descriu dependenta relativa a eficientei de detectie de sectorul unghiular. A doua parte a termenului din dreapta descrie dependenta energetica a eficientei de detectie, cu $A, B, T_{0,1,2}$ reprezentind coeficienti de calibrare iar $E_t = E + E_g$ energia totala (suma dintre energia particulei E si energia de accelerare E_g dintre suprafata detectorilor micro-channel plates - MCP - si grila de accelerare). In cadrul procedurii de calibrare absoluta facem urmatoarele asumptii:

- evolutia in timp a dependentei sectoriale a eficientei de detectie este simetrica, asadar coeficientii $\text{Cheff}(\theta)$ determinati la sol prin calibrarea pre-flight nu se schimba in cursul misiunii
- coeficientii $A, B, T_{0,1,2}$ care descriu dependenta energetica a eficientei de detectie nu se schimba de-a lungul timpului, acestia avind valorile determinate prin calibrarile pre-flight

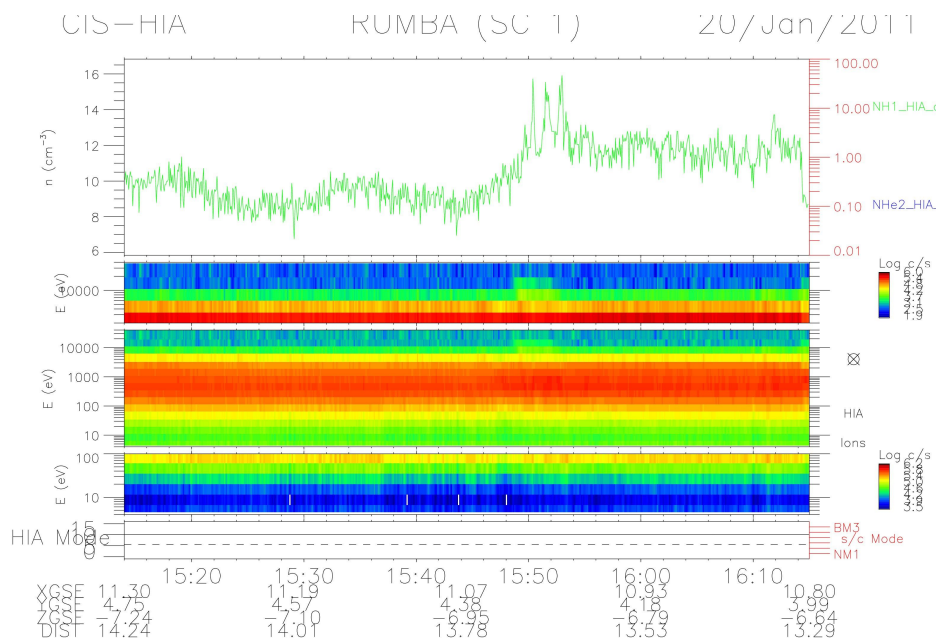


Figura 1. Tipul de plot standard folosit in identificarea intervalelor de calibrare a datelor furnizate de sectiunea HS a HIA imbarcat pe satelitul C1. Datele corespund intervalului 15:15 - 16:15 din 20 Ianuarie 2011. Densitatea ionilor (panelul de sus) este suficient de lenta, cu exceptia unui interval scurt centrat pe ora 15:30. Pe baza celor trei spectrograme energetice (urmatoarele trei paneluri) putem presupune ca nu exista o populatie semnificativa de ioni ramasa nedetectata de HIA. Panelul de jos prezinta modul de operare HIA si cel de telemetrie alocat.

Aceste doua ipoteze simplifica foarte mult procedura de calibrare in-flight, intrucit implica determinarea doar a unui singur coeficient (coeficient de calibrare absoluta) pentru fiecare sectiune de senzitivitate a HIA.

Conform procedurii de calibrare absoluta, fiecare interval de date din perioada Noiembrie - Iulie, cind satelitul intilnesc regiunea magnetosheath, se analizeaza separat, deteminindu-se un set de coeficienti de calibrare. Ultima valoare din acest set se presupune a fi valabila pina la inceputul urmatoarei luni Noiembrie, cind incepe un alt sezon de date din magnetosheath.

Pentru ilustrare, vom prezenta mai jos activitatile de selectare a intervalelor de calibrare si cele de calibrare propriu-zisa corespunzatoare datelor HS prelevate de C1 in intervalul Noiembrie 2010 - Iulie 2011. In vederea selectarii intervalelor de calibrare, s-au generat automat ploturi de tipul celui din Fig.1 pentru intregul interval analizat. Fiecare plot corespunde unui interval de 20 de minute de date HIA, si prezinta (de sus in jos) densitatea numerica a ionilor si spectrograma energetica in trei intervale energetice, respectiv 2 - 32 keV (partea de sus a spectrului energetic detectabil de HIA), 40 eV - 32 keV (intregul spectru energetic al HIA) si 40 - 100 eV (partea de jos a spectrului energetic detectabil de HIA). Panelul de jos prezinta modul de operare HIA si modul de telemetrie alocat. In conditiile unei perioade de aproximativ 2.5 luni (25 Martie 2011 - 6 Iunie 2011) in care HIA nu a transmis date, pentru perioada analizata au rezultat aproximativ 10,000 de ploturi care au fost inspectate vizual.

Date	Start time	$K = N_{HIA} / N_{WHISPER}$	RSD (%)	# points
2010-11-20	00:00:00	0.9714	3.11	2469
2010-12-10	03:55:00	0.9907	2.7	1840
2011-01-05	17:55:00	0.9827	2.39	2635
2011-01-20	15:14:00	0.9843	3.68	1957
2011-06-11	10:36:00	0.9302	3.89	4635
2011-07-01	08:18:00	0.917	3.51	582
2011-07-03	03:18:00	0.9402	2.86	373

Tabelul 1. Intervalele selectate pentru calibrarea datelor HS prelevate de C1 in intervalul Noiembrie 2010 - Iunie 2011. Coloanele tabelului indica data si ora de inceput a intervalului, coeficientul de calibrare absoluta obtinut, abaterea standard a punctelor a valorilor $N_{HIA} / N_{WHISPER}$ fata de acest coeficient si numarul de puncte care au participat la compararea datelor HIA si WHISPER.

Ulterior, s-a intocmit o lista extinsa de intervale candidate la procedura de calibrare absoluta. In cazul calibrarii datelor HS furnizate de instrument, se compara densitatea ionilor HIA cu densitatea electronilor furnizata de experimentul WHISPER, folosind intervale din zona magnetosheath. Experimentul WHISPER detecteaza, in mod activ sau pasiv, diferite frecvente caracteristice ale plasmei, dependente de densitatea electronilor. Se alege regiunea magnetosheath a plasmei intrucit acolo valorile caracteristice ale parametrilor plasmei (densitate, temperatura, spectru energetic) asigura o performanta optima a detectorului de ioni. Criteriile care au stat la baza selectiei au fost urmatoarele:

- pentru intervalele selectate exista indicatii ca marea majoritate a ionilor a fost detectata de catre HIA, i.e. nu par sa existe populatii de ioni cu o energie in afara idomeniului de detectie al instrumentului (aprox. 40 eV – 32keV). Totusi, situatia in care exista o populatie semnificativa de ioni nedetectata de HIA nu poate fi exclusa apriori.
- evolutia densitatii este suficient de lenta, pentru a putea localiza mai usor eventualele artefacte instrumentale. Totodata, acest criteriu este important intrucit cele doua

instrumente pot oferi valori diferite cind intilnesc o discontinuitate in plasma, datorita efectelor de raza Larmor finita. Pe de alta parte, sint de preferat intervalele in care valorile densitatii acopera un spectru cit mai larg, pentru a creste relevanta compararii celor doua instrumente.

- artefactele instrumentale, daca exista, sint usor identificabile si pot fi indepartate inaintea procesului de comparare a datelor
- intervalele selectate nu trebuie sa se afle pe lista Data Caveats, intocmita pe baza datelor de housekeeping si care contine perioadele de timp in care instrumentul nu a functionat la parametrii normali.
- pentru calibrare se folosesc intervale care acopera cel putin o ora de date (in mod tipic, intervalele se extind pe 2-3 ore).

Datele HIA din intervalele aflate pe lista extinsa au fost analizate in detaliu si interpretate din punct de vedere fizic pentru a exlude eventuale influente artificiale in valorile masurate (datorate potentialului electric al satelitului, operarii altor instrumente, problemelor de telemetrie etc). Pentru aceasta sau utilizat datele citorva instrumente imbarcate pe satelitii Cluater, si anume WHISPER, CODIF (spectrometrul de ioni), PEACE (spectrometrul de electroni), RAPID (spectrometrul de ioni de energii inalte) ASPOC (controlul al potentialului electric al satelitului) si EFW (experimentul de cimp electric, ce poate furniza si informatii despre potentialul electric al satelitului)

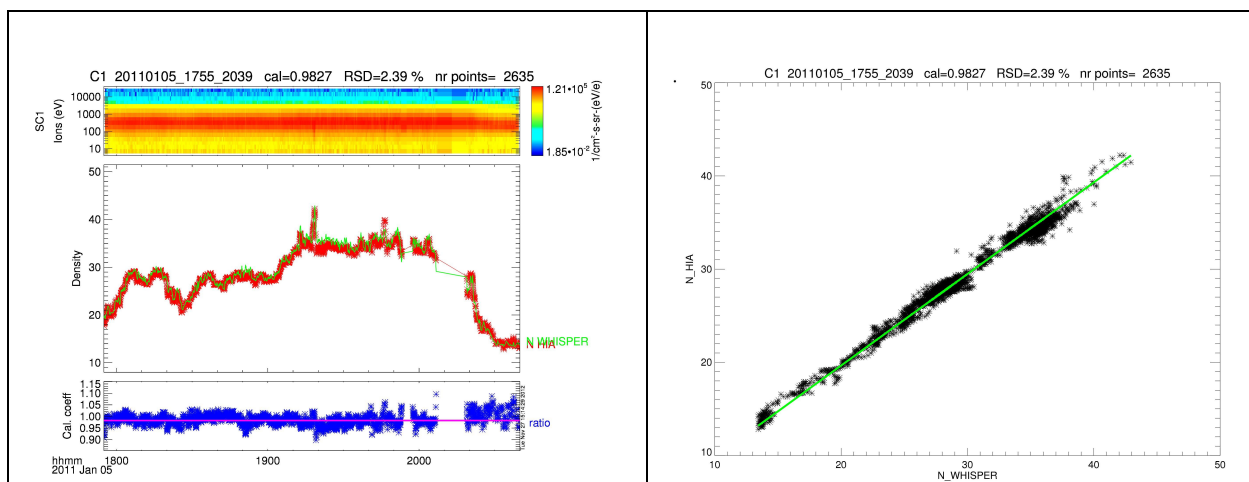


Figura 2. Calibrarea datelor pentru intervalul 17:55 – 20:39 din 5 Ianuarie 2010. In **partea stinga**, cele trei paneluri prezinta spectrograma energetica HIA, densitatile numerice furnizate de HIA si WHISPER dupa prelucrarea datelor (ioni - linie rosie, electroni – linie verde) si evolutia raportului celor doua densitati N_{HIA} si $N_{WHISPER}$ (puncte albastre). In **partea dreapta** se compara evolutia N_{HIA} in functie de $N_{WHISPER}$. Valoarea coeficientul de calibrare pentru acest interval se obtine prin fitare datelor cu o dreapta ce trece prin originea axelor de coordonate.

Dupa compararea prelimiara a datelor HIA cu datele WHISPER s-au selectat 7 intervale, listate in Tabelul 1, care au intrat in etapa efectiva de calibrare. Figura 2 ilustreaza procesul de calibrare efectiva a datelor corespunzator intervalului 17:55 – 20:39 din 5 Ianuarie 2010. Aceasta activitate presupune mai multe actiuni:

- identificarea si indepartarea artefactelor instrumentale
- eliminarea portiunilor cu variatii rapide in densitate, cind cele doua instrumente pot oferi valori diferite
- verificarea simetriei eficientei de detectie a diferitelor sectoare unghiulare HIA pentru intervalul analizat. Acest lucru se face analizind marimea $(P_{perp2} - P_{perp1}) / [(P_{perp2} + P_{perp1})/2]$, cu P_{perp1} si P_{perp2} presiunea termica a plasmei de-a lungul a doua directii ortogonale din planul

perpendicular pe directia cimpului magnetic local. In ipoteza unei plasme girotrope, aceasta cantitate reflecta exclusiv un dezechilibru in eficienta de detectie a sectoarelor unghiulare HIA

- filtrarea, medierea si interpolarea datelor, pentru a obtine in final doua seturi de date avind aceleasi etichete temporale
- analiza statistica si calcularea efectiva a coeficientului de calibrare absoluta

Exemplul prezentat in Fig. 2 ilustreaza faptul ca procedura calibrarii absolute produce rezultate consistente in zona magnetosheath a plasmei. Intr-adevar, partea dreapta indica o proportionalitate evidenta intre densitatile furnizate de HIA si WHISPER pe o plaja de valori relativ extinsa. In acelasi sens, marimea $(P_{\text{perp}2} - P_{\text{perp}1}) / [(P_{\text{perp}2} + P_{\text{perp}1}) / 2]$ (evolutia nu este prezentata in Fig. 2) se situeaza in general sub pragul de 5%, indicind o simetrie pronuntata a eficientei de detectie sectoriala a HIA.

Figura 3 prezinta rezultatul activitatii de calibrare a datelor HS prelevate de C1 in perioada Noiembrie 2010 - Iulie 2011. Pentru fiecare interval sint indicati coeficientii de calibrare absoluti obtinuti si eroarea asociata (abaterea standard relativa). Se observa o scadere a eficientei de detectie a HIA, ceea ce reprezinta o evolutie previzibila, datorata "imbatrinirii" detectorilor MCP. De notat ca intre 25 Martie 2011 - 6 Iunie 2011 instrumentul HIA nu a furnizat date. Rezultatul otinut impune stabilirea a doua valori pentru coeficientul de calibrare asociat perioadei analizate: o valoare pentru iarna 2010 – 2011, obtinuta prin combinarea datelor de la primele 4 intervale, si o valoare pentru primavara-vara lui 2011, obtinuta prin combinarea datelor de la ultimele 3 intervale.

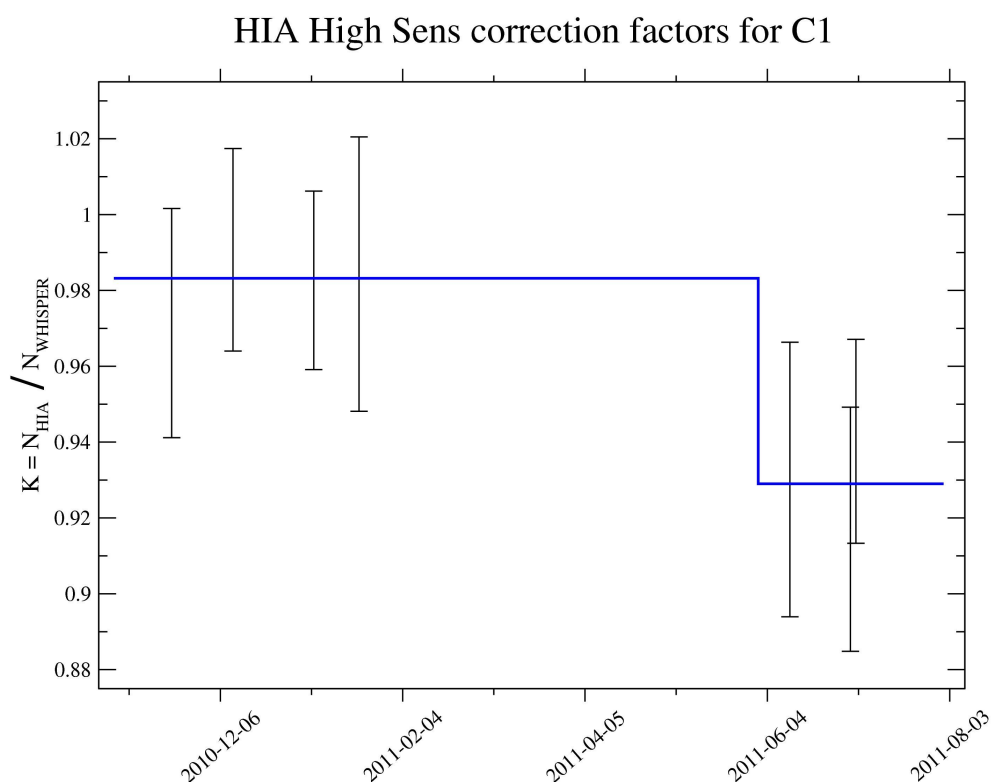


Figura 3. Coeficientii de calibrare absoluta detrmnati pe baza intervalelor listate in Tabelul 1. Pentru fiecare interval, segmentul vertical este proportional cu abaterea standard relativa. Se observa o scadere a eficeintei HIA in perioada de timp analizata. Pentru perioada s-au stabilit doua valori ale coeficientului absolut de calibrare (linia albastra continua).

Progresul activitatii de calibrare absoluta HIA obtinut in etapa actuala a proiectului CALYPSO este aratat in Fig. 4. Primul panel prezinta evolutia eficientei de detectie in cazul sectiunilor HS ale instrumentelor HIA. Linia continua neagra (desemnind instrumentul imbarcat pe C1) si rosie (C3) corespund activitatii de calibrare desfasurata in cadrul GPSM intre 2009 si 2011, dupa metodologia pusa la punct in cadrul grupului. Linile punctate se bazeaza pe o metodologie de calibrare mai putin

riguroasa, folosita in comunitatea instrumentului inainte de 2009 si care se bazeaza pe un set de date WHISPER de acuratete mai mica. In etapa actuala a CALYPSO, datele C1 s-au calibrat pina la nivelul Octombrie 2012 (linia continua albastra). Din Noiembrie 2009 instrumentul HIA de la bordul C3 nu mai este operational.

Panelul al doilea este similar primului, referindu-se la sectiunile LS ale celor doua instrumente HIA. In etapa actuala a CALYPSO datele C1 s-au calibrat pina la nivelul Iunie 2011, data de la care HIA nu mai opereaza pe C1 in modul LS (linia continua albastra) si pe perioada Noiembrie 2004 – Noiembrie 2005. In cazul C3, instrumentul a fost calibrat pe perioada Noiembrie 2004 – Noiembrie 2005 (linia continua magenta). De remarcata ca noua metodologie de calibrare a furnizat o eficienta putin mai mare decit cea veche.

Al treilea panel prezinta evolutia tensiunii de operare a detectorilor MCP (linia neagra pentru C1 iar linia rosie pentru C3).

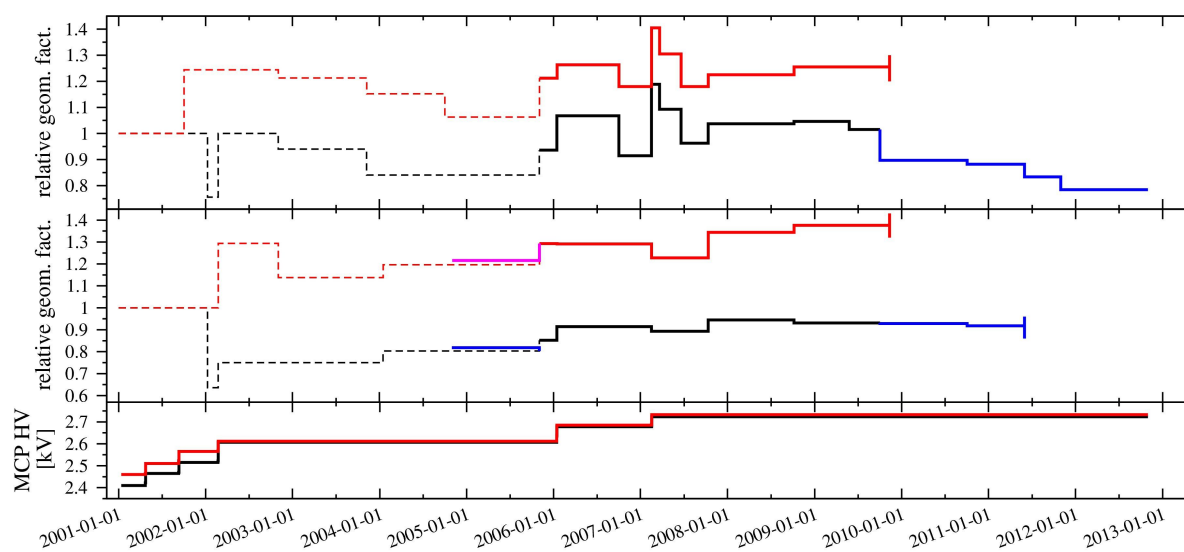


Figura 4. Evolutia eficientei de detectia a senzorilor HIA si a potentialului electric aplicat detectorilor MCP de la inceputul misiunii pina la inceputul lui 2013. Valorile eficientelor sint relative la valorile determinate la inceputul misiunii. Mai multe detalii sint oferite in text.

Valorile coeficientilor de calibrare determinate in aceasta etapa a CALYPSO au fost trimise catre IRAP – institutia PI a experimentului CIS/Cluster – pentru validare, implementare in tabelele de calibrare si procesare a datelor.

7. Contextul și contribuția la programele ESA

Misiunea Cluster este o misiune de referinta din cadrul programului Horizon 2000 a ESA. In iunie 2013, tinind cont de productivitatea stiintifica remarcabila a misiunii, Science Programme Committee al ESA a aprobat continuarea finantarii operatiunilor stiintifice cel putin pina la sfirsitul anului 2016.

Rezultatele proiectului CALYPSO vor avea un impact direct asupra calitatii datelor furnizate de un instrument ce echipeaza satelitul Cluster. Pe de o parte, CALYPSO va acoperi de o maniera comprehensiva activitatile legate de calibrarea in-flight a instrumentului HIA. Pe de alta parte, activitatile avute in vedere de CALYPSO acopera o necesitate importanta a comunitatii stiintifice: prin cresterea calitatii datelor si prin extinderea setului de date calibrate, este de asteptat ca executia proiectului va furniza noi oportunitati/nise de cercetare.

Proiectul are o relevanta majora pentru programul Cluster Active Archive (CAA) al ESA care isi propune sa pastreze si sa faca public comunitatii stiintifice totalitatea datele Cluster, calibrate corespunzator si la rezolutia maxima furnizata de instrumente. La mijlocul anului 2013, numarul de utilizatori ai CAA depasea 1700, rata medie lunara de download fiind de aprox. 2.2 TB, dintre care

0.6 TB se refereau la experimentul CIS. Sustinerea de catre ESA a CAA este demonstrata de resursele alocate acestui program (de departe mai mari decat la oricare alta misiune) si de seria de workshop-uri bi-anuale pe tema calibrarii instrumentelor Cluster. ESA intentioneaza sa sustina CAA cel putin un an dupa incheierea operatiunilor stiintifice ale misiunii Cluster.

Problemele abordate de CALYPSO au relevanta si pentru alte misiuni. Instrumentul de particule de la bordul misiunii Double-Star, o misiune comuna ESA – Agentia Spatiala Chineza, este identic cu HIA, fiind de fapt exemplarul de rezerva al misiunii Cluster. Programul CAA acopera si datele furnizate de instrumentele Double-Star. Instrumente de particule similare HIA au fost imbarcate in trecut pe o serie de alte misiuni non-ESA (WIND, FAST, Equator-S etc) si este de asteptat ca vor fi dezvoltate pentru echiparea misiunilor viitoare; CALYPSO va contribui la o intelegere mai buna a performantelor in-flight a instrumentelor de particule, un aspect esential in pregatirea noilor experimente imbarcabile pe sateliti stiintifici.

8. Concluzii

Activitățile programate in prima etapă a proiectului CALYPSO au fost îndeplinite iar obiectivele au fost atinse. Echipa proiectului este pregătită pentru realizarea urmatoarei etape.

Director de proiect,
Dr. Adrian Blagau

Indicatori de monitorizare/rezultat

Nr. crt.	Denumirea indicatorului	
1	sume atrase prin participarea la programele ESA (EURO)	
2	nr. de nișe CDI identificate	
3	nr. de programe opționale ESA la care se participă ¹	
4	nr. de misiuni spațiale ESA la care participă entitățile implicate în realizarea proiectului ²	1 (Cluster)
5	nr. de experimente și sarcini utile imbarcabile la bordul misiunilor ESA	
6	nr. de centre de profil nou înființate	
7	nr. de institute naționale de CDI / entități de CDI / universități participante la realizarea proiectului	1
8	nr. entități din industrie participante la realizarea proiectului	
9	nr. de companii naționale aflate în lanțul de furnizori pentru marii integratori de produse spațiale ³	
10	ponderea participării diverselor entități în cadrul proiectului (industrie, institute naționale de CDI, entități de CDI, universități) (%) (se raportează bugetul total alocat entității pe etapa la bugetul total al proiectului)	INCD – 100 %
11	nr. de cursuri de instruire/perfecționare organizate	
12	nr. activități de diseminare organizate (workshopuri/seminarii/conferințe etc.)	
13	nr. cereri brevete depuse national/international	
14	nr. brevete înregistrate national/international	
15	nr. articole publicate sau acceptate spre publicare ⁴	
16	nr. cărți publicate sau acceptate spre publicare ⁵	

¹) se vor preciza denumirile programelor optionale ale ESA la care se participă²) se vor preciza denumirile misiunilor spațiale ESA la care se participă³) se va preciza denumirea integratorului(lor) de produse spațiale⁴) se anexează lista articole⁵) se anexează lista cărți