



INSTITUTUL DE ȘTIINȚE SPATIALE

Program STAR

Contract Nr. 45 / 2012

Validarea datelor L-1b ale misiunii Swarm folosind tehnici multi-satelitare de estimare a gradientilor

VALS

II. RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC

ETAPA 1

Pregătire pachet software

GRUPUL DE PLASMĂ SPAȚIALĂ ȘI MAGNETOMETRIE

Decembrie 2012

RAPORT STIINTIFIC SI TEHNIC

1. Titlu proiect

Validarea datelor L-1b ale misiunii Swarm folosind tehnici multi-satelitare de estimare a gradientilor (VALS)

(titlul propunerii: Validation of Swarm L-1b data using multi-point gradient estimation techniques)

2. Obiective generale/specifice proiect

Obiectivul principal al VALS îl constituie testarea consistenței și validarea “in-flight” a datelor furnizate de instrumentele Vector Field Magnetometer (VFM) și Electric Field Instrument (EFI) care vor echipa sateliții viitoarei misiuni Swarm a ESA. Pe baza datelor furnizate de sateliții Swarm și folosind tehnici de estimare a gradientilor marimilor fizice, se va urmări gradul în care măsurătorile respecta legi electrodinamice specifice ale plasmei ionosferice, i.e. $\text{div } \mathbf{B} = 0$, $\text{curl } \mathbf{E} = 0$ și $\text{curl } \mathbf{V} = 0$ ($\mathbf{B}$, $\mathbf{E}$ și $\mathbf{V}$ reprezintă cimpul magnetic, cimpul electric și, respectiv, viteza plasmei). Nivelul acceptabil al abaterilor de la valoare de zero va fi stabilit ca parte a procedurii de validare; în acest scop se vor analiza performanțele metodei folosindu-se date sintetice precum și date furnizate de misiunea multi-satelitară Cluster. Selecția intervalelor de validare a datelor Swarm se va face în funcție de forma configurației satelitare și a zonelor explorate (condiții geomagnetice liniștite, perturbatii față de cimpul de model cât mai mici). Principala sarcină va fi decelarea semnalelor ‘naturale’, - amprente ale unor manifestări ale mediului – de eventualele semnale generate de instrumentație.

3. Nr. etapa / Denumire etapa

Etapa I. Pregătire pachet software

4. Obiective Etapa

Conform planului de realizare a proiectului, în această etapă se raportează rezultatele preliminare ale Work Package 1 (WP1). În cadrul WP1, care se derulează pe parcursul a 9 luni, se urmărește

- dezvoltarea de programe pentru: (a) citirea, afișarea și compararea datelor furnizate de sateliți diferiți/ instrumente diferite în cazul misiunii multi-satelitare Swarm (b) generarea de date sintetice, testarea metodei de validare folosind datele sintetice și date furnizate de sateliții Cluster (c) programe pentru preselecția intervalelor de validare (d) programe pentru analiză și pentru validarea / testarea consistenței datelor Swarm; programe pentru procesare automată.
- adaptarea programelor existente la specificitatea misiunii Swarm și a obiectivelor proiectului VALS. Se au în vedere pachete de programe pentru estimarea gradientilor spațiali, pentru estimarea și extragerea cimpului geomagnetic de model, pentru simularea orbitelor de zbor, pentru analiză statistică etc.
- integrarea programelor într-un pachet unitar

5. Rezultate planificate Etapa

Activitate I.1. Adaptare programe existente (WP1)

Activitate I.2. Dezvoltare programe și testare pe date Cluster (WP1)

Activitate I.3. Pregătire Raport anual (WP5)

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

In aceasta etapa de implementarea a programului VALS s-a urmarit dezvoltarea de noi programe soft precum si adaptarea si pregatirea instrumentelor de analiza deja existente pentru etapele de executie viitoare. In mod concret:

- pornind de la pachetele de programe, CCAT si ATMUSO, dezvoltate in comunitatea cercetatorilor din domeniul plasmei spatiale, s-a realizat un pachet de programe integrat, adaptat analizelor avute in vedere in proiectul VALS
- pachetului de programe rezultat i s-au adaugat facilitati noi
- adaptarea pachetului de analiza QSAS, dezvoltat in comunitatea cercetatorilor din domeniul plasmei spatiale. S-au instalat module pentru estimarea gradientilor spatiali din masuratori satelitare multi-point si pentru estimarea cimpului geomagnetic conform modelului POMME 7; modulele au fost puse la dispozitie de colaboratorii externi.
- programele s-au testat in detaliu folosind datele provenind de la misiunea multi-satelitara Cluster a ESA.

6.2 Descrierea științifică și tehnică

Dezvoltare si adaptare de programe pentru analiza stiintifica a datelor

CCAT este un pachet de programe dedicat analizei datelor instrumentului CIS (spectrometru de ioni) ce echipaza satelitul Cluster. A fost dezvoltat, in principal, de un grup de cercetatori de la University of New Hampshire (Chris Mouikis), Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung (Markus Fraenz) si Space Physics Research Group (SPRG), University of California, Berkeley (Peter Schroeder, Jim McFadden). Pachetul contine, totodata, rutine pentru analiza datelor de cimp magnetic (experimentul FGM), si poate fi extins catre analiza altor marimi fizice masurate la bordul Cluster. Este scris in IDL si foloseste pachetul de grafica TPLOT, dezvoltat de David Larson (SPRG).

Pachetul ATMUSO, dezvoltat de Joachim Vogt (School of Engineering and Science - Jacobs University Bremen) contine o colectie de proceduri pentru analiza datelor multi-satelitare. Tipurile de analiza abordate includ estimari ale gradientilor marimilor fizice atunci cind sint disponibile (simultan) 3 sau 4 puncte de masura, estimarea parametrilor unei discontinuitati in plasma, estimarea vectorului de unda din date multi-satelitare etc. Tehnicile implementate in ATMUSO sint descrise in detaliu in Vogt et. al. 2009¹.

Pornind de la aceste doua pachete soft, s-a realizat:

- pachetului de programe ATMUSO i s-a adaugat intregul potential pus la dispozitie de pachetul CCAT (plotare multi-instrument, multi-satelit, acces la datele experimentale Cluster, manipulare date, analiza etc).

1 Vogt, J., A. Albert, and O. Marghitu, Analysis of three-spacecraft data using planar reciprocal vectors: methodological framework and spatial gradient estimation, Ann. Geophys. 27, 2009

- compatibilizarea si integrarea rutinelor ATMUSO si CCAT a urmarit realizarea unui pachet de programe modular, oferind flexibilitate si usurinta in exploatare si care este deschis pentru dezvoltari ulterioare.
- rutinele ATMUSO au fost eficientizate (citirea datelor intr-o singura instanta, citirea pe canale distincte a pozitiei satelitilor implicati in analiza si a marimilor fizice masurate de catre acestia, stocarea datelor in memorie in structuri TPLOT usor accesibile, salvarea pe hard-disk a calculelor intermediara, inlocuirea ciclurilor FOR ... DO cu operatii de calcul vectorial, mai eficiente etc)
- s-au dezvoltat noi rutine pentru ingestia datelor Cluster (date de cimp magnetic, de cimp electric, date de particule) furnizate prin interfata Cluster Active Archive a ESA. Datele de particule (instrumentul CIS) pot fi citite si din baza de date locala, unde informatia primara (si completa) este stocata in format specific.
- s-au dezvoltat noi rutine pentru a putea trata eficient si corect cazurile de data-gap (portuni fara date) sau date avind rezolutie temporala diferita. S-a mers pe o abordare conservativa, programul stabilind la inceputul analizei care instrument furnizeaza cele mai putine puncte de masura; informatia de timp asociata este folosita mai departe ca baza de timp de referinta, i.e. masuratorile altor instrumente sint interpolate la aceste momete de timp (joining).
- pentru cazul experimentului CIS, unde exista practic doua instrumente de masura, s-a implementat posibilitatea de a folosi simultan date provenind de la instrumente diferite, i.e. CODIF sau HIA.
- s-a implementat posibilitatea de a rula automat programul pe o lista de intervale (batch processing)

Modul de interfatare cu utilizatorul precum si structura de nivel inalt a noului pachet de programe sint prezentate mai jos. Programul a fost testat in detaliu folosind date Cluster, rezultatele obtinute fiind comparate cu programe similare (QSAS, rutine MATLAB dedicate).

Interfata de utilizare

Pentru estimarea operatorilor diferentiali spatiali (gradient, rotor sau divergenta) ai unei marimi fizice masurate (simultan) de 3 sau 4 sateliti, se foloseste fisierul de comenzi **grad_crib.pro**, prezentat mai jos.

- practic, sint lansate doua rutine de nivel superior, si anume **read_input** pentru citirea fisierelor de date si **grad_analysis** pentru estimarea gradientilor spatiali ai marimilor fizice masurate. Orice alta linie din fisierul de comenzi **grad_crib.pro** descrie parametrii de intrare pentru aceste rutine.
- modul de interactiune a celor doua rutine de nivel superior cu rutinele de rang inferior, inaccesibile utilizatorului, este prezentat mai jos in doua diagrame. Pentru fiecare rutina s-au indicat variabilele de acces si o scurta descriere a modului de lucru. Circulatia datelor intre programe si/sau hard-disk si memorie este de asemenea indicata.
- prima parte a fisierului, asociata cu rutina **read_input**, specifica intervalul temporal de analiza si marimile fizice ce se doresc analizate. Cantitati diferite, masurate de sateliti diferiti sau/si instrumente diferite pot fi citite, independent de tipul de analiza avut in vedere. Datele masurate, precum si informatia de pozitie a satelitilor sint stocate pe hard-disk si in memoria RAM (structuri TPLOT) pentru procesare ulterioara.
- partea a doua a fisierului **grad_crib.pro** specifica tipul de analiza dorit, putindu-se preciza una sau mai multe sarcini (apelari ale rutinei **grad_analysis**). La fiecare apelare datele care intra in analiza (stocate pe hard-disk) sint recuperate, serile temporale de date sint

prelucrate pentru a avea aceeași baza de timp (joining) iar analiza este transmisă către rutinele de rang inferior.

- În cazul analizei bazate pe 3 puncte de măsură, informația existentă permite obținerea doar a componentelor gradientelor spațiale din planul determinat de punctele de măsură. Componentele lipsă se pot estima impunând constrângeri adiționale, ca de exemplu o orientare a gradientului total perpendicular sau paralel cu o anumită direcție în spațiu, ori folosirea ipotezei de staționaritate (vezi Vogt et. al. 2009) Constrângerile adiționale se introduc prin intermediul parametrilor GRAD_CONDTYPE, GRAD_CONDVECTORINFO și GRAD_CONDVETOR.
- pachetul de programe permite folosirea simultană a măsurătorilor de particule furnizate de cele două instrumente CIS, i.e. HIA și CODIF. În acest caz se pot estima gradienti spațiali ai densității, vitezei și presiunii plasmiei.

În exemplul prezentat, **read_input** citește datele de câmp magnetic de la cei patru sateliți Cluster precum și datele de presiune a plasmiei, măsurate de instrumentul CODIF, corespunzătoare sateliților 1, 3 și 4. Ulterior **grad_analysis** este apelată de două ori, prima dată pentru a calcula gradientii spațiali ai presiunii plasmiei (în planul format de sateliții 1, 3, și 4) și a doua oară pentru a estima gradientii spațiali ai cimpului magnetice.

```

; =====
; CCAT-ATMUSO batch file
; =====

; time interval.
DAYT_BEG = '2001-09-07/21:30:00' ;... start date 'yyyy-mm-dd/hh:mm:ss'
DAYT_END = '2001-09-07/22:45:00' ;... end date 'yyyy-mm-dd/hh:mm:ss'

; Instrument, satellites and physical quantity
INSTR = 'FGM, FGM, FGM, FGM, CODIF, CODIF, CODIF' ;...instrument code CODIF, HIA or FGM
SAT = '1, 2, 3, 4, 1, 3, 4' ;...satellites
QNT = 'B, B, B, B, P, P, P' ;...physical quantity B, P, N, V

POS_INFO = 'FGM' ;...files used for reading sat. positions

SAVE, DAYT_BEG, DAYT_END, INSTR, SAT, QNT, POS_INFO, filename = 'input_param.sav'

READ_INPUT, INSTR, SAT, QNT, DAYT_BEG, DAYT_END, POS_INFO

SAT_GRAD = '1, 3, 4' ; sat. used in GRAD computation
QNT_GRAD = 'P' ; physical quantity used in GRAD computation

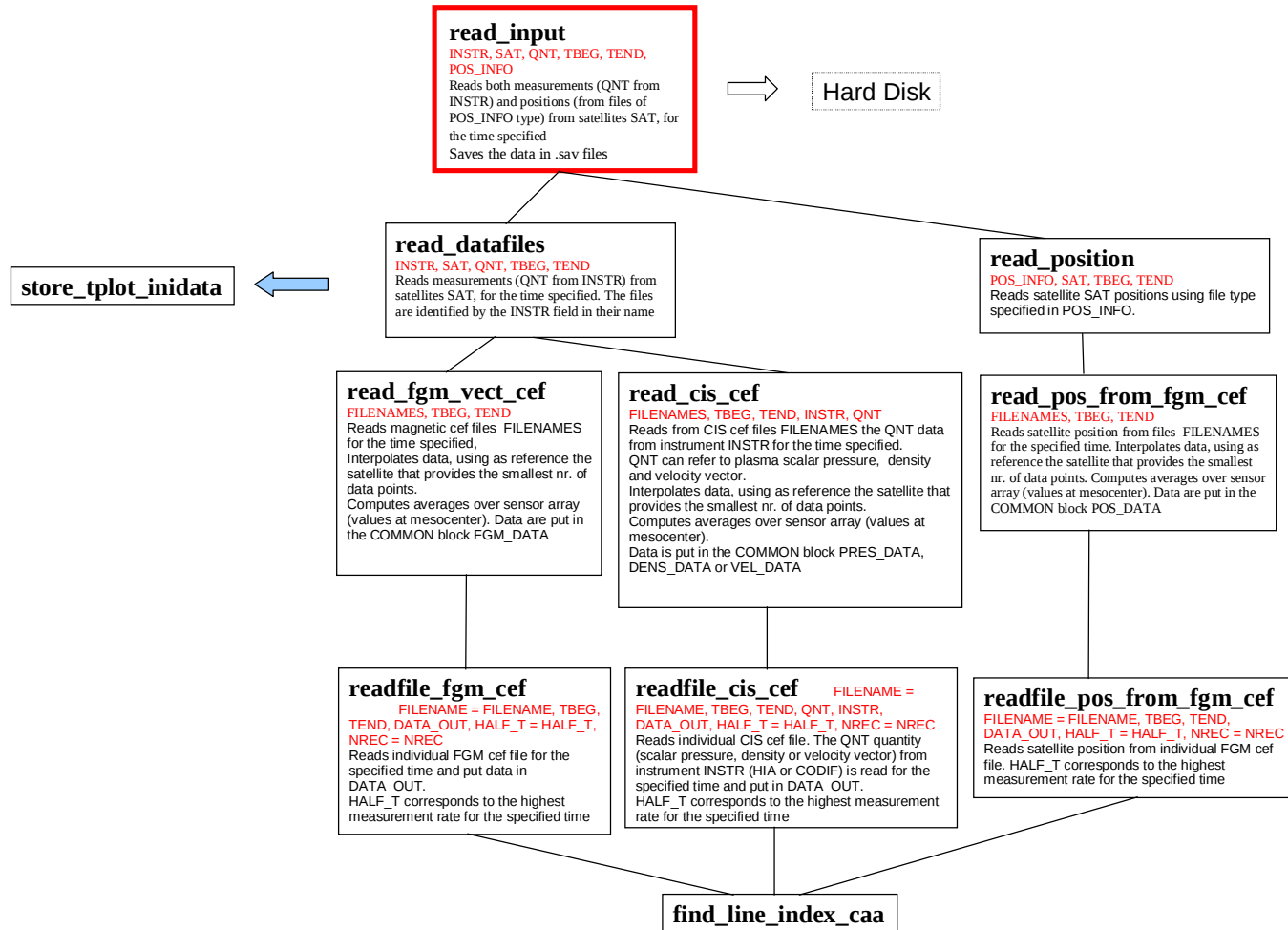
PROJECTION_VECTOR = 0 ; Set PROJECTION_VECTOR to obtain projected data.
;--- PROJECTION_VECTOR = { x:0., y:0., z:1. }
; GRAD_WSMOSEC = 20. ;... width of smoothing window in seconds
; ... gradient estimation, 3-point method
; GRAD_CONDTYPE = 'perp' ;... condition type: 'para', 'perp', 'stat' or none
; GRAD_CONDVECTORINFO = 'fixed' ;... info on condition vector
; GRAD_CONDVECTOR = { x:0., y:0., z:1. } ;... fixed condition vector
; GRAD_CONDWINDOW = 16

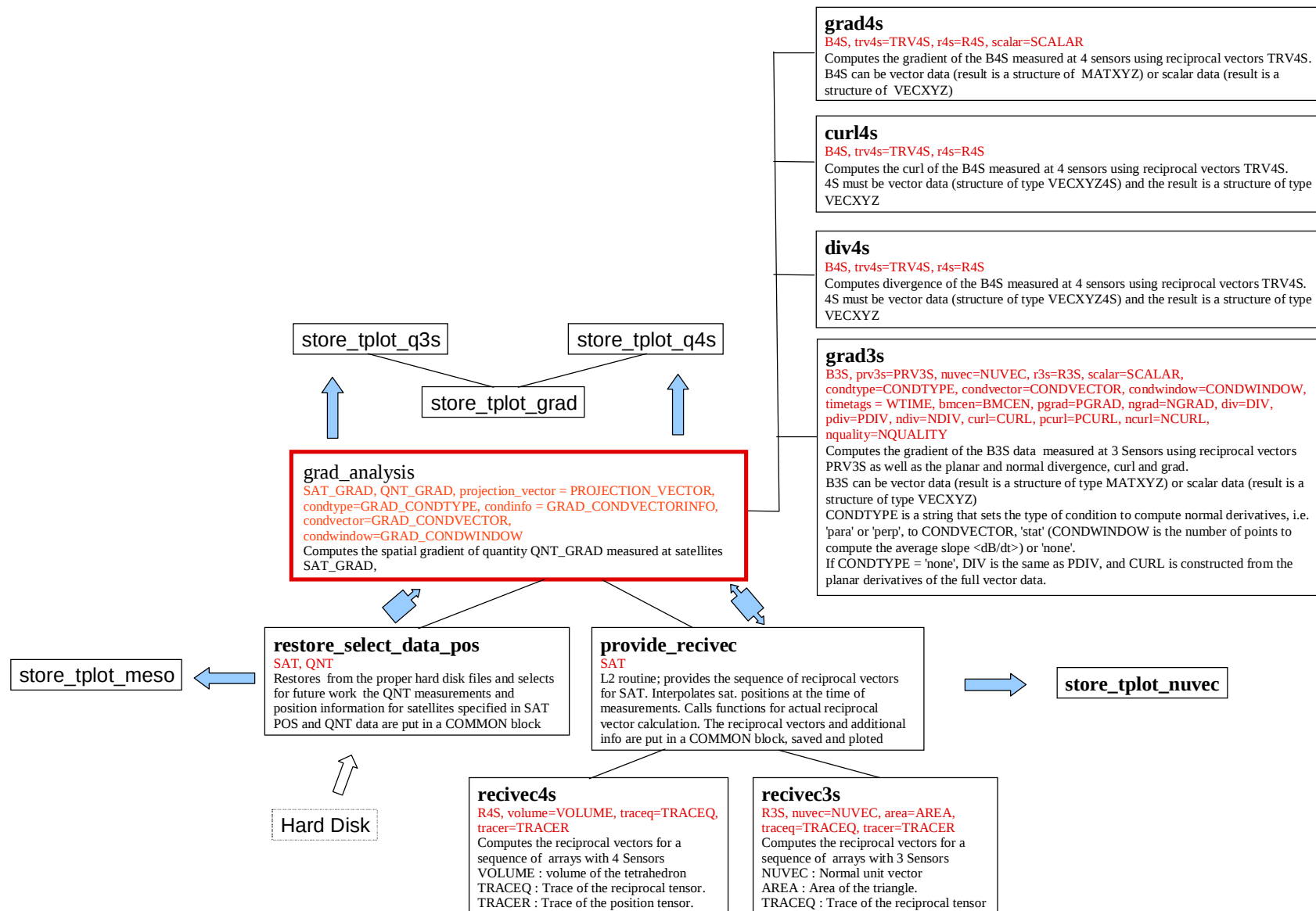
GRAD_ANALYSIS, SAT_GRAD, QNT_GRAD, projection_vector = PROJECTION_VECTOR, $
; condtype=GRAD_CONDTYPE, condinfo = GRAD_CONDVECTORINFO, $
; condvector=GRAD_CONDVECTOR, condwindow=GRAD_CONDWINDOW

SAT_GRAD = '1, 2, 3, 4' ; sat. used in GRAD computation
QNT_GRAD = 'B' ; physical quantity used in GRAD computation

GRAD_ANALYSIS, SAT_GRAD, QNT_GRAD, projection_vector = PROJECTION_VECTOR, $
; condtype=GRAD_CONDTYPE, condinfo = GRAD_CONDVECTORINFO, $
; condvector=GRAD_CONDVECTOR, condwindow=GRAD_CONDWINDOW

```



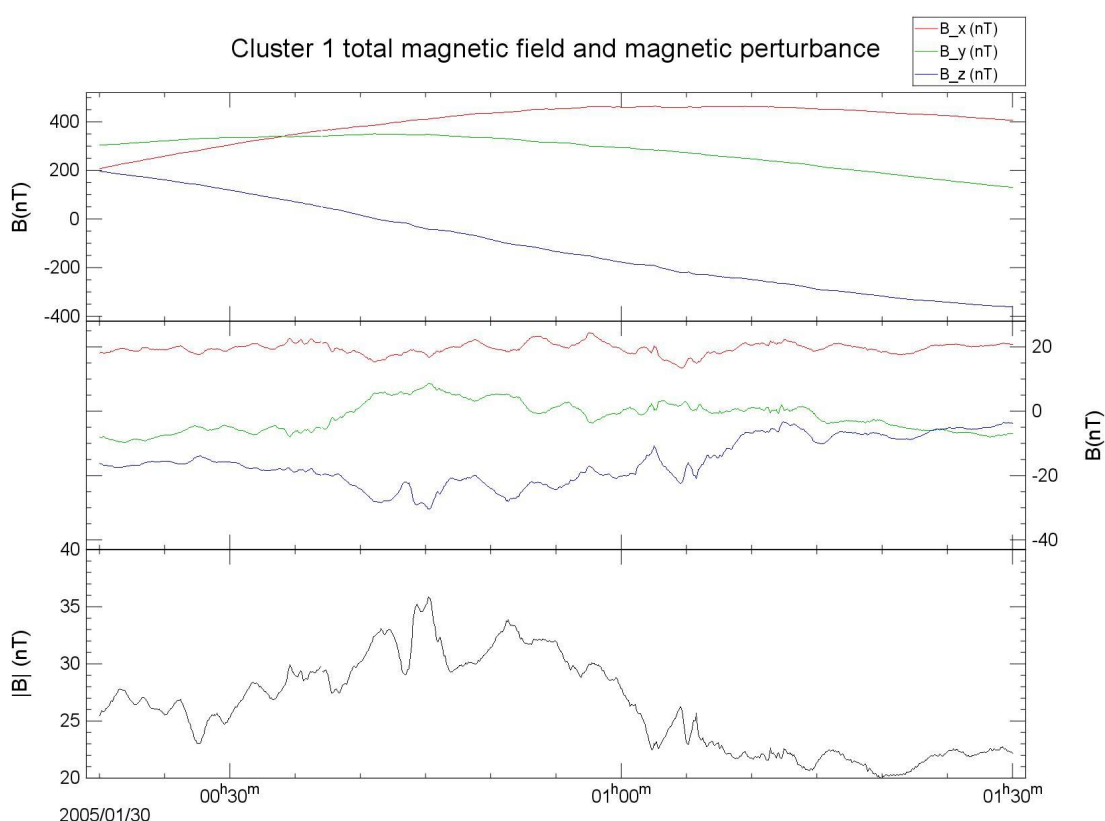


Instalarea de extensii QSAS si testarea acestora folosind date Cluster.

QSAS este un pachet de programe dedicat analizei stiintifice, foarte popular in comunitatea cercetatorilor din domeniul plasmei spatiale, fiind dezvoltat de United Kingdom Cluster Science Centre (<http://www.sp.ph.ic.ac.uk/csc-web/QSAS/>). Extensii ale acestui pachet, utile in implementarea programului VALS, au fost dezvoltate la School of Engineering and Science / Jacobs University Bremen (Eugen Sorbalo) si cuprind module pentru estimarea gradientilor spatiali din masuratori satelitare multi-point si pentru estimarea cimpului geomagnetic conform modelului POMME 7 (<http://www.geomag.us/models/pomme7.html>) dezvoltat de catre German Research Centre for Geosciences din Potsdam.

Este de asteptat ca datele Swarm vor fi livrate (si) in formatul stiintific CDF, astfel incit ingestia acestora in QSAS sa se faca fara probleme. Cu ajutorul modulelor mai sus mentionate, se vor putea identifica intervalele potrivite pentru validarea datelor Swarm prin analiza deviatilor masuratorilor de la modelul POMME 7 si se vor putea face primele estimari in privinta divergentei cimpului magnetic, a rotorului cimpului electric si a divergentei vitezei de masa a plasmei.

Cele doua module au fost instalate si testate folosind date Cluster. Figura de mai jos, ilustreaza extragerea perturbatiei magnetice fata de cimpul de model pentru un interval apropiat de perigeul orbitei satelitilor Cluster, la ~ 4.4 raze terestre. De mentionat ca modelul POMME 7 este menit sa descrie cu acuratete cimpul magnetic la altitudini mai mici, de citeva sute de km, la care vor zbura satelitul Swarm.



Panelul superior prezinta componentele (in sistemul de referinta GSE) cimpul magnetic masurat de satelitul Cluster 1 in apropierea perigeului. Urmatorul panel prezinta componentele perturbatiei magnetice obtinute din extragerea modelului geomagnetic POMME 7. Ultimul panel arata modulul acestei perturbatii.

7. Contextul și contribuția la programele ESA

Misiunea Swarm, a carei lansare este preconizată a avea loc în Aprilie 2013, face parte din programul Earth Explorer al ESA, având drept principal obiectiv studierea în detaliu a cimpului geomagnetic și a evoluțiilor sale temporale. Este de așteptat ca misiunea Swarm să constituie principala sursă de măsurători geomagnetice efectuate la bordul sateliților în următorii 5 ani.

Activitățile planificate în cadrul proiectului VALS sunt parte a unui efort internațional constituit ca răspuns la apelul *Swarm Science and Validation Opportunity (SSVO)* al ESA. Cu această ocazie, o echipă sub îndrumarea Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ) din Potsdam a înaintat o propunere care a fost ulterior evaluată și acceptată de ESA. Directorul de proiect VALS împreună cu Dr. Octav Marghitu sunt Co-Investigatori ai proiectului condus de GFZ. În cadrul proiectului, Grupul de Plasma Spațială și Magnetometrie (GPSM) din ISS, împreună cu School of Engineering and Science din cadrul Jacobs University Bremen (SES-JUB) vor utiliza tehnici de estimare a gradientilor spațiali pentru a testa conformitatea datelor Swarm cu legi electrodinamice fundamentale ale plasmei ionosferice.

Rezultatele preconizate de VALS vor avea un impact direct asupra calității datelor furnizate de două instrumente ce echipază sateliții Swarm. Rapoartele de validare a datelor vor fi înaintate către GFZ; acesta va corobora rezultatele obținute de toate echipele de calibrare pe care le coordonează și va înainta un raport către ESA. În același timp, conform condițiilor SSVO, rezultatele obținute de VALS vor fi prezentate cu ocazia workshopurilor dedicate activităților de validare.

Cu ocazia apelului SSVO, GPSM sub coordonarea Dr. Octav Marghitu a submis și o propunere științifică, *Auroral Electrodynamics with Swarm (ALEOS)*, acceptată ulterior de ESA. Această propunere a fost acceptată la finanțare și în cadrul proiectului STAR. Participarea la activitățile Swarm de validare a datelor, prevăzute de VALS, va avea un impact pozitiv asupra executiei programului ALEOS, permițind accesul direct atât la date de calitate cât și la expertiză specifică.

Etapa curentă a proiectului, dedicată pregătirii programelor software, s-a realizat printr-o strânsă coordonare cu partenerii externi, pachetele de programe ATMUSO și POMME 7 fiind dezvoltate la SES – JUB și, respectiv, GFZ.

8. Concluzii

Activitățile programate în prima etapă a proiectului VALS au fost îndeplinite iar obiectivele au fost atinse. Echipa proiectului este pregătită pentru realizarea următoarei 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
3	nr. de programe opționale ESA la care se participă ¹	1 (Earth Observation)
4	nr. de misiuni spațiale ESA la care participă entitățile implicate în realizarea proiectului ²	2 (Swarm, 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 participă

²) se vor preciza denumirile misiunilor spațiale ESA la care se participă

³) se va preciza denumirea integratorului(lor) de produse spațiale

⁴) se anexează lista articole

⁵) se anexează lista cărți