



INSTITUTUL DE
ȘTIINȚE SPAȚIALE
Filială INFLPR

Program STAR

Contract Nr. 20 / 2012

Electrodinamică aurorală cu Swarm

ALEOS

II. RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC

ETAPA 4

Octav Marghitu, Costel Bunescu, Dragoș Constantinescu,

Adrian Blăgău, Vlad Constantinescu, Horia Comișel

GRUPUL DE PLASMĂ SPAȚIALĂ ȘI MAGNETOMETRIE

Decembrie 2015

RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC

1. Titlu proiect

Electrodinamică aurorală cu Swarm

(în Propunerea de Proiect: Auroral electroynamics with Swarm – ALEOS)

2. Obiective generale/specifice proiect

Conform Secțiunii 1.1, *Concept and Objectives*, a Propunerii de Proiect:

Proiectul ALEOS se va concentra pe electrodinamica ionosferei, cu accent pe regiunea aurorală – unde liniile de câmp magnetic asigură o legătură directă între ionosfera–termosfera colisională și magnetosfera necolisională. Măsurătorile Swarm în trei puncte, conjugate în anumite momente cu date la sol, vor face posibilă o examinare sistematică a închiderii ionosferice a curenților asociate cu aurora. Datele de câmp magnetic, câmp electric și vânt neutru furnizate de Swarm, împreună cu valorile conductanței Pedersen și Hall obținute direct, din observații radar conjugate (e.g. EISCAT), sau indirect din datele Swarm, vor permite explorare fără precedent a curenților ionosferici și conexiunii acestora cu curenți aliniați, atât pe scala arcului cât și pe scala ovalului auroral – pentru diverse zone de timp local, niveluri de activitate magnetică și faze în ciclul subfurtunilor. (...)

Obiectivele specifice ale proiectului ALEOS sunt:

(a) Observarea gradientilor în lungul arcului auroral (în câmp electric, curenți aliniați, etc) și ajustarea modelelor prezente de arc, predominant 1D.

(b) Examinarea electrodinamicii 2D a aurorei, cu ajutorul datelor de la toți cei trei sateliți Swarm.

(c) Considerarea influenței vântului neutru asupra electrodinamicii aurorale.

(d) Investigarea rolului ionosferei–termosferei în sistemul cuplat magnetosferă–ionosferă–termosferă, folosind atât date Swarm cât și observații de la altitudini mai înalte, în particular de la misiunile Cluster și THEMIS.

3. Nr. etapa / Denumire etapa

Etapa IV. Asamblare bază de date evenimente Swarm în zona aurorală (conform *Plan de Realizare*)

4. Obiective Etapa

Conform *Work Package 2 și 3* (obiective și activități relevante pentru a patra Etapă):

Concluzii asupra evenimentelor analizate și publicare.

Determinare condiții geomagnetice și date conjugate pentru intervalele promițătoare

Asamblare bază de date.

Evaluarea datelor de câmp electric Swarm: Studiu de caz

5. Rezultate planificate Etapa

Selectarea unui eveniment Swarm pentru validarea datelor de câmp electric

Validarea și ajustarea datelor de câmp electric: Studiu de caz

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

Proiectul ALEOS își propune să utilizeze date măsurate *in-situ* de misiunea Swarm, lansată în Noiembrie 2013, pentru studiul electrodinamicii ionosferei aurorale și al cuplajului acesteia cu magnetosfera. Datele necesare pentru investigațiile avute în vedere în propunerea de proiect urmau să fie furnizate de experimentele MAG (date de câmp magnetic), EFI/TII (date de câmp electric de la instrumentul Thermal Ion Imager) și ACC (date de accelerometrie, referitoare la atmosfera neutră). La momentul de față, Noiembrie 2015, doar datele MAG sunt disponibile pentru exploatare curentă în scop științific. Datele EFI/TII, deschise utilizatorilor obișnuiți în Februarie 2015, sunt încă în proces de calibrare/validare (CalVal), iar datele ACC, accesibile în prezent doar echipelor implicate în activități CalVal, permit deocamdată doar estimarea densității atmosferei neutre, nu și a vitezei vântului neutru (necesară pentru examinarea influenței asupra electrodinamicii aurorale).

În aceste condiții, activitatea desfășurată în etapele precedente ale proiectului s-a concentrat pe examinarea unei configurații de cuplaj magnetosferă–ionosferă, materializată în două articole publicate în 2014, și pe dezvoltarea de tehnici avansate pentru analiza curenților aliniați cu câmpul magnetic (*field-aligned currents, FAC*), materializată de curând în articolul *Bunescu et al. (2015)*. După ce datele de câmp electric au devenit disponibile, în ultima etapă a proiectului ne-am concentrat pe elaborarea unei proceduri care să permită evaluarea calității acestor date și, după caz, ajustarea lor. În raportul de față prezentăm rezultatele acestui efort, desfășurat în colaborare cu colegi de la Finnish Meteorological Institute (FMI) Helsinki, supuse recent atenției comunității de experți Swarm/EFI în cadrul 5th Swarm Data Quality Workshop (*Marghitu et al., 2015*).

Procedura propusă pentru evaluarea datelor de câmp electric se bazează pe închiderea ionosferică a curenților aliniați și face uz de o metodă dezvoltată la FMI (*Amm et al., 2015*), care permite determinarea conductanței ionosferice Pedersen și Hall, Σ_p și Σ_H , folosind datele de câmp electric și magnetic Swarm. Valorile obținute pentru raportul $\alpha = \Sigma_H / \Sigma_p$ oferă un prim criteriu de validare a datelor de câmp electric, în timp ce compararea Σ_p cu un estimat independent, bazat pe o formulă semi-empirică (*Robinson et al., 1987*), oferă un al doilea criteriu de validare și, posibil, perspectiva dezvoltării unui algoritm de ajustare a datelor măsurate, atunci când criteriile de validare indică o astfel de necesitate.

În cele ce urmează, vom detalia această procedură în Secțiunea 6.2.1, vom prezenta modul de selectare a evenimentului Swarm pentru evaluarea datelor de câmp electric în Secțiunea 6.2.2, iar în Secțiunea 6.2.3 vom ilustra aplicarea procedurii cu ajutorul evenimentului selectat. În Secțiunea 6.2.6 listăm rezultatele obținute în cadrul proiectului – articole, comunicări la conferințe, seminarii.

Proiectul ALEOS beneficiază de rezultate obținute în cadrul proiectului STAR *VALidation of Swarm L-1b data using multi-point gradient estimation techniques (VALS)*, director de proiect Dr. Adrian Blăgău), în particular în ce privește asamblarea unei baze de date cu evenimente Swarm tri-satelit și dezvoltarea pachetului software pentru procesarea datelor de câmp magnetic. ALEOS interacționează de asemenea cu proiectele PN2 *Magnetosphere–ionosphere coupling in the auroral region (M–ICAR)*, program Idei, director de proiect Dr. Octav Marghitu) și *Excitation, propagation and dissipation of ULF waves in the magnetosphere (ERODIUM)*, program Resurse Umane, director de proiect Dr. Dragoș Constantinescu). Complementaritatea proiectelor ALEOS și M–ICAR a permis depășirea dificultăților legate de reducerea finanțării proiectelor Idei în ultimii ani și obținerea de rezultate relevante pentru ambele proiecte.

ALEOS beneficiază și de parteneriatele internaționale ale Grupului de Plasmă Spațială și Magnetometrie (GPSM) din ISS, în particular de interacția cu experți de la Jacobs University Bremen (JUB), Finnish Meteorological Institute (FMI) Helsinki, University of Calgary (UoC), German Research Centre for Geosciences (GFZ) Potsdam, Royal Institute of Technology (KTH) Stockholm, Institute for Space Physics (IRF) Kiruna – implicați în propunerea ALEOS, acceptată de ESA în Februarie 2012.

6.2. Descrierea științifică și tehnică

6.2.1. Introducere: Bazele procedurii de validare a datelor de câmp electric

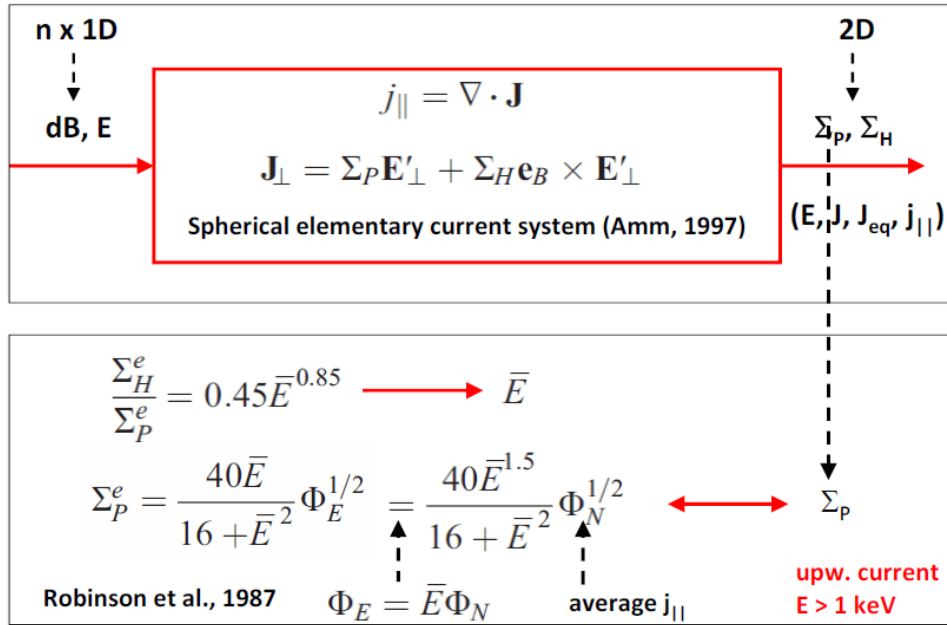


Figura 1. Schema bloc a procedurii propuse pentru evaluarea datelor de câmp electric. Datele de câmp electric și magnetic măsurate de sateliții Swarm de-a lungul traiectoriilor sunt folosite pentru ridicarea de hărți bi-dimensionale ale conductanței, Σ_p, Σ_H , și altor mărimi electrodinamice (Amm et al., 2015). Conductanța astfel determinată poate fi comparată cu estimările semi-empirice propuse de Robinson et al. (1987), permițând implicit evaluarea acurateței datelor de câmp electric.

Schema bloc a procedurii propuse pentru validarea datelor de câmp electric este sintetizată în Fig. 1:

- Jumătatea superioară a figurii se bazează pe metoda dezvoltată de Amm et al. (2015), prin care datele de câmp electric și magnetic măsurate de sateliții Swarm de-a lungul traiectoriilor sunt folosite pentru ridicarea de hărți 2D ale conductanței ionosferice Pedersen și Hall, Σ_p și Σ_H , utilizate ulterior pentru a deduce hărțile altor mărimilor electrodinamice de interes (e. g. câmpul electric, \mathbf{E} , curentul ionosferic, \mathbf{J} , curentul ionosferic echivalent, \mathbf{J}_{eq} , sau curentul aliniat cu câmpul magnetic, $\mathbf{j}_{||}$), pe o suprafață care anvelopează traiectoriile sateliților. Pentru determinarea conductanței sunt folosite ecuația închiderii curentului la nivel ionosferic, $j_{||} = \nabla \cdot \mathbf{J}$, legea lui Ohm, $\mathbf{J} = \Sigma_p \mathbf{E}_{\perp} + \Sigma_H \mathbf{e}_B \times \mathbf{E}_{\perp}$, și sistemul de curenți sferici elementari introdus de Amm (1997).
- În jumătatea inferioară a figurii, datele de conductanță sunt comparate cu rezultatul unei estimări semi-empirice independente, propuse de Robinson et al. (1987). Astfel, raportul conductanțelor, Σ_H/Σ_P , determinat prin metoda Amm et al. (2015), oferă un prim criteriu, calitativ, de validare a datelor de câmp electric. Acest raport este obținut pornind de la date de intrare de câmp electric și magnetic, iar acuratețea datelor de câmp magnetic este în general bună, prin urmare acuratețea Σ_H/Σ_P , depinde, în esență, de calitatea datelor de câmp electric. Pentru o energie medie uzuală a electronilor, de ordinul câtorva keV, Σ_H/Σ_P este în jur de 2, o valoare semnificativ diferită (e. g. mai mare ca 4, v. și mai jos) sugerând deja date de câmp electric problematice. Informația de conductanță poate fi folosită și pentru o verificare mai strictă, cantitativă, a rezultatelor obținute și, implicit, a calității datelor de câmp electric. Pe baza raportului Σ_H/Σ_P se poate estima energia medie a electronilor, care împreună cu informația asupra fluxului numeric, Φ_N , extrasă din densitatea curentului aliniat (determinată, la rândul ei, din perturbația câmpului magnetic), permite o estimare alternativă a conductanței Pedersen, Σ_p – acolo unde curentul aliniat este ascendent iar energia medie a electronilor $> 1 \text{ keV}$. Raportul celor două conductanțe Pedersen, cea obținută din harta 2D (Amm et al., 2015) și cearezultată din formula semi-empirică (Robinson et al., 1987), furnizează un criteriu cantitativ de evaluare a calității datelor de câmp electric.

6.2.2. Selecția evenimentului pentru evaluarea datelor de câmp electric

În scopul selectării unui eveniment adecvat pentru evaluarea datelor de câmp electric, folosind procedura descrisă în Secțiunea precedentă, am folosit criteriile următoare:

- a) Baza de selecție în intervalul Aprilie–Septembrie 2014, pentru care a fost deschis inițial accesul utilizatorilor obișnuiți la date de câmp electric, în Februarie 2015.
- b) Evenimente în sectorul noapte (unde câmpul electric, asociat formelor aurorale, este mai intens) și în emisfera nordică. În emisfera sudică, polul sud geografic este situat în vecinătatea ovalului auroral, ceea ce determină traiectorii ale sateliților improprii pentru determinarea hărților 2D.
- c) Toți trei sateliții Swarm traversează zona aurorală aproximativ în același timp (cu o margine de câteva minute), astfel încât pentru hărțile 2D să poată fi folosite date de la toți sateliții. Baza de date tri-satelit corespunzătoare, asamblată în cadrul proiectului VALS, este disponibilă online la adresa http://gpsm.space-science.ro/ftp/ab/swarm_3sc_database/. Chiar dacă hărțile 2D au fost dezvoltate în principal pentru sateliții A și C, care zboară pe orbite paralele, accesul simultan la date de la satelitul B poate îmbunătăți rezultatele, cu atât mai mult cu cât calitatea datelor de câmp electric de la satelitul C nu este întotdeauna cea mai bună (în acest sens, inițial accesul utilizatorilor obișnuiți a fost deschis doar la date de la sateliții A și B, v. și mai jos).
- d) Profile ΔB similare pentru cei trei sateliți, i.e. curenți aliniați (mai mult sau mai puțin) staționari și cu geometrie simplă, 1D (variație longitudinală neglijabilă pentru structura de scală mare). Condiția de staționaritate este necesară pentru a putea acomoda diferențele de câteva minute între traversarea sateliților A-C și cea a satelitelui B, iar geometria 1D a curenților aliniați asigură profile asemănătoare de variație a lui E pentru toți trei sateliții.
- e) Conjuncția cu stații la sol, în particular din Scandinavia, Canada, sau Alaska, poate adăuga informații diverse – e. g. date optice, câmp magnetic, sau câmp electric (radar) –, utile în procesul de validare. Dat fiind intervalul de selecție în perioada primăvară/vară (criteriile a și b), informația optică la latitudini mari lipsește (prea multă lumină pentru a distinge formele aurorale). Evenimentul analizat mai jos beneficiază suplimentar doar de date de câmp magnetic.

Utilizarea criteriilor a)–d) a condus la identificarea mai multor evenimente candidat pentru un studiu aprofundat, dintre care cele mai promițătoare sunt listate în Tabelul 1. Pentru fiecare eveniment sunt indicate momentul observației, latitudinea magnetică și timpul magnetic local (care organizează, în sens larg, fenomenologia aurorală), latitudinea și longitudinea geografică (pentru identificarea conjuncțiilor cu stații sau rețele de stații la sol), perturbația magnetică observată de Swarm (cu aproximație, pentru evaluarea activității geomagnetice).

Adăugarea criteriului e) a recomandat pentru studiu aprofundat evenimentele 2 și 5, pentru care sunt disponibile și date observate de stații din rețeaua MIRACLE, <http://www.geo.fmi.fi/MIRACLE/>, pentru evenimentul 2, respectiv din rețeaua misiunii THEMIS, <http://themis.ssl.berkeley.edu/>, pentru evenimentul 5. Dat fiind colaborarea cu FMI și accesul mai facil la datele MIRACLE, pentru evaluare detaliată a fost selectat evenimentul 2. Ampretele ionosferice ale sateliților Swarm în acest caz sunt prezentate în Fig. 2. Datele de câmp magnetic *in-situ* și curentul ionosferic echivalent (obținut din câmpul magnetic observat la sol), prezentate în Fig. 3, probează caracterul staționar și geometria 1D a curenților aliniați și a electrojetului ionosferic asociat curenților aliniați ascendenți.

Tabel 1. Evenimente candidat pentru studiu aprofundat

Nr. crt.	Momentul observației	Latitudine magnetică	Timp magn. local	Latitudine geografică	Longitudine geografică	ΔB
1	29.06/07:02	70	21	73	-169	300
2	30.07/02:10	71	5	74	24 (Scand.)	400
3	11.08/14:45	70	4	75	180	200
4	17.08/13:14	66	4	68	-164	400–600
5	23.08/11:41	70	3	70	-150 (Alaska)	200

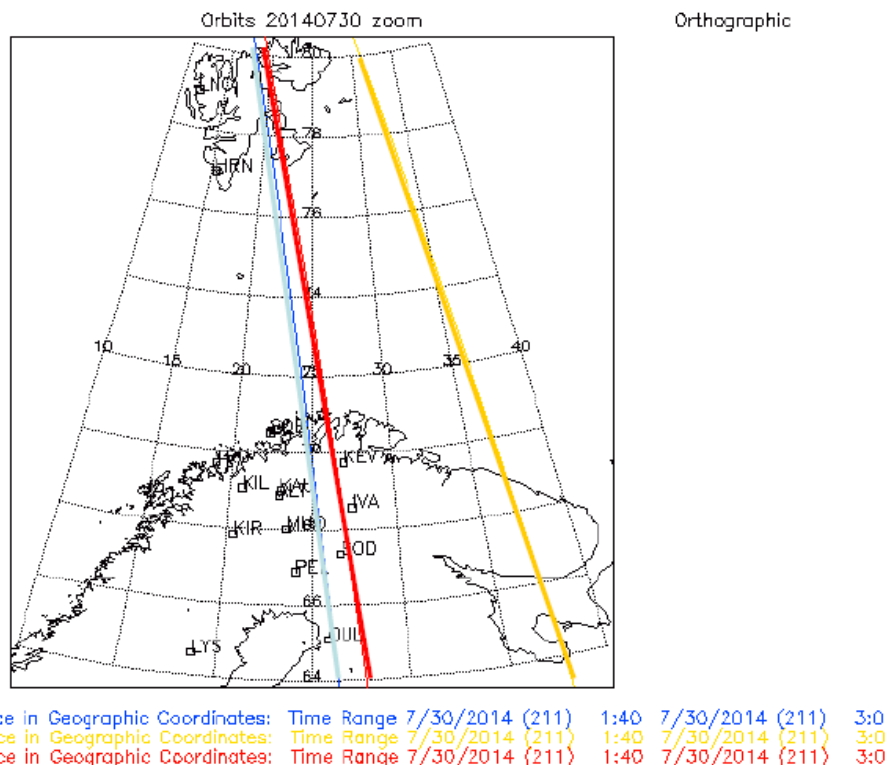


Figura 2. Amprente ionosferice ale sateliților Swarm pentru evenimentul din 30 Iulie 2014 (Tabel 1), obținute cu ajutorul SSCWeb, <http://sscweb.gsfc.nasa.gov/>.

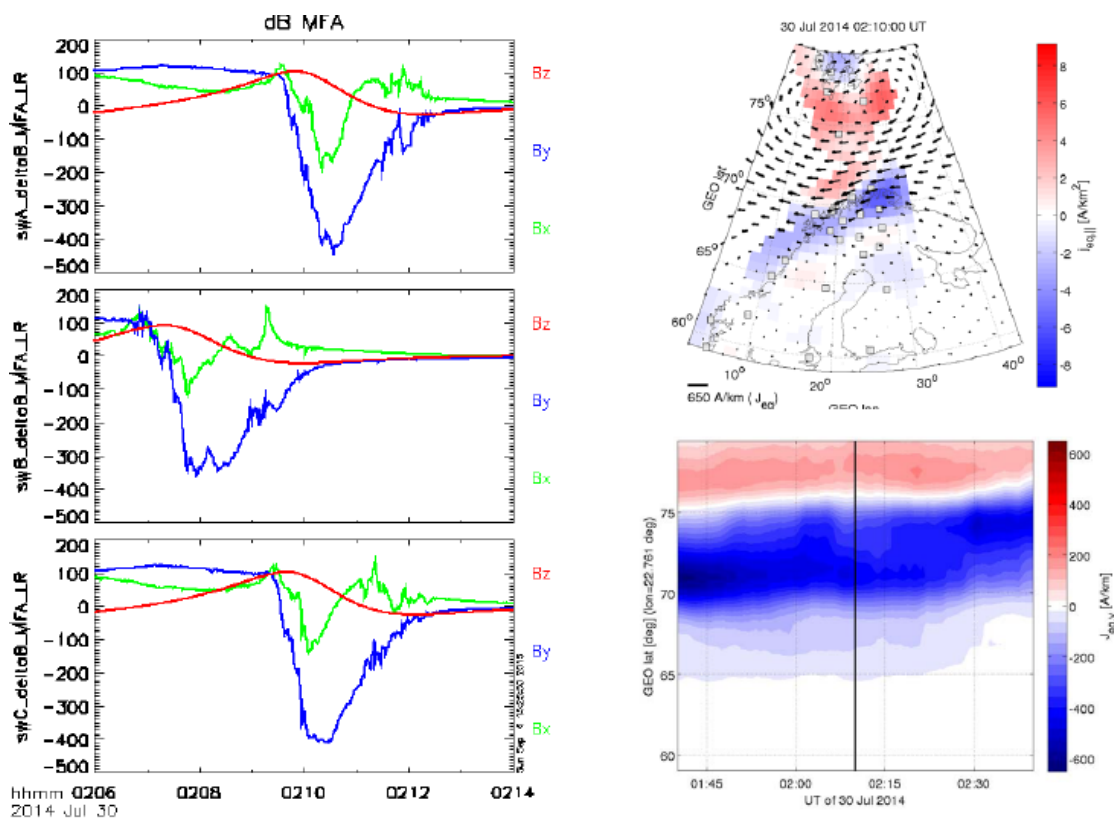


Figura 3. Date de câmp magnetic Swarm (stânga) și curent ionosferic echivalent bazat pe date de câmp magnetic observate de stații din rețeaua MIRACLE (dreapta; credit: Liisa Juusola, FMI). Datele probează caracterul staționar și geometria 1D a evenimentului selectat.

6.2.3. Studiu de caz: Eveniment conjugat Swarm/MIRACLE

În continuare prezentăm analiza evenimentului conjugat Swarm/MIRACLE din 30 Iulie 2014, selectat pentru studiu detaliat. Obiectivul analizei a fost probarea unei proceduri de validare a datelor de câmp electric, care ulterior să poată fi utilizată sistematic în evaluarea acestor date.

Analiza a fost întreprinsă atât cu date de câmp electric *operațional* (OPER), deschise utilizării de către echipele CalVal, cât și cu date de câmp electric *preliminar* (PREL), procesate suplimentar în cadrul instituției PI, UoC, și deschise utilizatorilor obișnuiți. Figura 4 prezintă perturbația câmpului magnetic și câmpul electric în cele două cazuri, folosite ca date de intrare în procedura FMI de obținere a hărților de conductanță. Această procedură furnizează valorile conductanței în nodurile unei rețele de discretizare bazate pe traiectoriile sateliților Swarm. După cum sunt selectate traiectoriile A–C sau A–B, rețeaua poate acoperi o suprafață mai mică sau mai mare, cu rezoluție spațială diferită (Fig. 5).

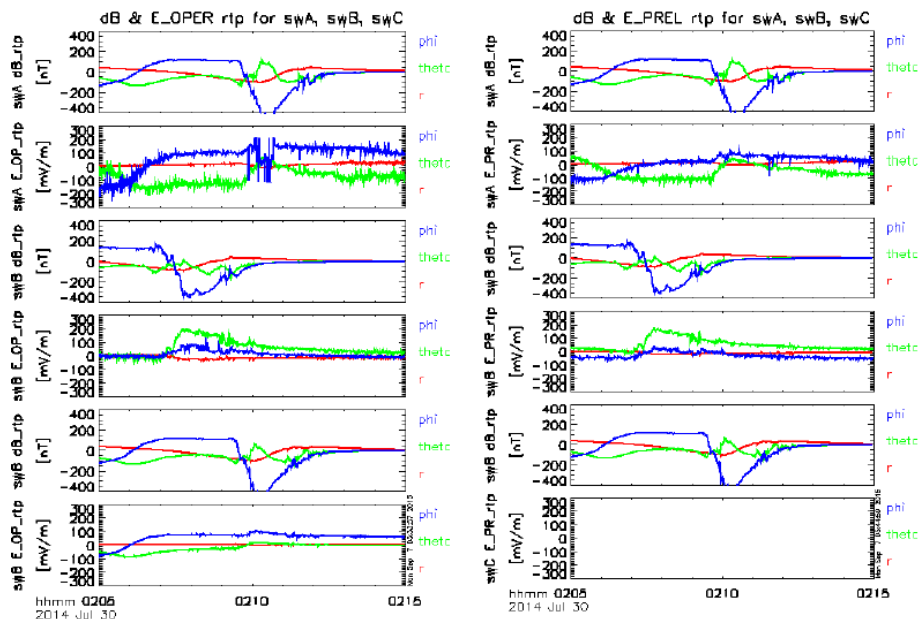


Figura 4. Perturbația câmpului magnetic, dB, și câmpul electric, E, folosite ca input pentru obținerea hărților de conductanță. În stânga este prezentat câmpul electric *operațional*, E_OPER, iar în dreapta câmpul electric *preliminar*, E_PREL (v. text), disponibil doar pentru sateliții A și B. dB nu se schimbă între cele două seturi de date. Componentele vectorilor dB și E sunt calculate într-un sistem de coordonate sferice (r, theta, phi), cu axe aproximativ în direcțiile (sus, sud, est).

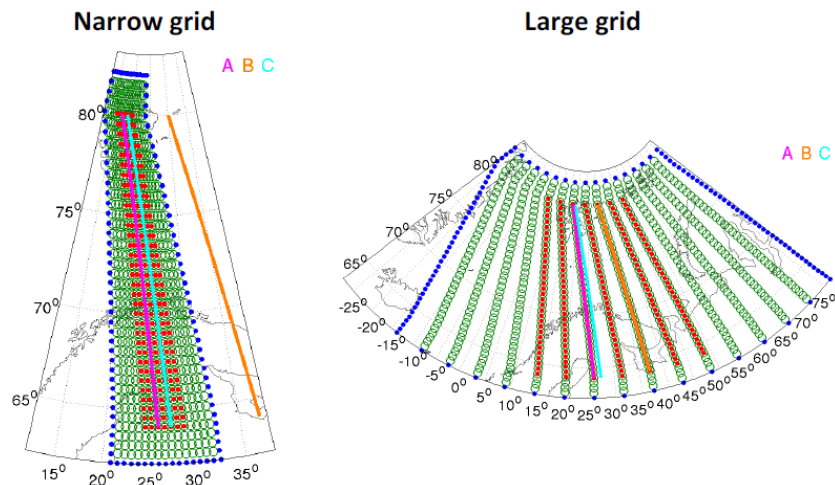


Figura 5. Rețele de discretizare pentru hărțile de conductanță: îngustă, bazată pe traiectoriile sateliților A–C, și largă, bazată pe traiectoriile sateliților A–B. Credit: Liisa Juusola, FMI.

Pentru o evaluare comparativă a celor două seturi de date de câmp electric, OPER și PREL, respectiv a celor două rețele de discretizare, A–C (îngustă) și A–B (largă), analiza a tratat toate cele patru combinații între setul de date OPER/PREL și rețeaua de discretizare îngustă/largă. Cele mai bune rezultate, prezentate în Secțiunea 6.2.3.1, s-au obținut pentru combinația setului PREL cu rețeaua îngustă, explicabil prin calitatea superioară a datelor din setul PREL și pasul mai mic al rețelei înguste, care implică erori de discretizare mai mici.

Așa cum arătăm mai jos, chiar și în acest cel mai bun caz, testele de consistență pentru conductanță, descrise în Secțiunea 6.2.1, indică o calitate problematică a datelor de câmp electric. O ajustare empirică a acestor date și efectul pozitiv corespunzător sunt prezentate în Secțiunea 6.2.3.2.

6.2.3.1. Rezultate obținute pentru date de câmp electric PREL și rețea îngustă

Figurile 6, 7 și 8 prezintă rezultatele analizei bazate pe date de câmp electric PREL și rețea de discretizare îngustă. Figura 6 grupează hărțile de conductanță, raportul conductanțelor și curentul aliniat împreună cu curentul ionosferic echivalent. După cum am menționat în Secțiunea 6.2.1, cea mai relevantă informație pentru validarea câmpului electric este furnizată de raportul conductanțelor (stânga jos), care poate ajunge la valori >3.5 . După *Robinson et al. (1987)*, aceste valori, obținute mai ales în zona de curent aliniat ascendent (compară cu panelul dreapta jos), indică valori ale energiei medii a electronilor >16 keV, puțin probabile pentru un timp magnetic local în jur de ora 5 dimineața (cf. Tabel 1). Criteriul calitativ de evaluare a datelor de câmp electric (cf. Secțiunea 6.2.1) sugerează o calitate problematică a acestor date.

Cu toate acestea, testul de consistență internă ilustrat de Fig. 7 indică o similitudine remarcabilă între datele măsurate și cele extrase din hărțile 2D. Pentru perturbația câmpului magnetic (panelele de sus) datele din hărți se suprapun aproape identic peste datele măsurate, în timp ce pentru câmpul electric se observă prezența unui offset în componenta θ (spre sud). Testul de consistență externă, ilustrat în Fig. 8, nu arată la fel de încurajator. Pe lângă valorile improbabil de mari pentru energia electronilor, acest test arată și o nepotrivire semnificativă între estimatul Σ_p bazat pe formula lui *Robinson et al. (1987)*, v. Fig. 1, în particular în zona de curent aliniat ascendent, și valoarea Σ_p extrasă din harta 2D (panelul de jos pentru fiecare satelit). Rezultatul nu foarte bun al testului de consistență externă în același timp cu rezultatul bun al testului de consistență internă sugerează că valorile de conductanță din hărțile 2D acomodează câmpul electric folosit ca input, astfel ca legea lui Ohm și închiderea curentului să fie respectate. Testul de consistență externă probează faptul că inacuratețea câmpului electric este compensată de inacuratețea conductanței.

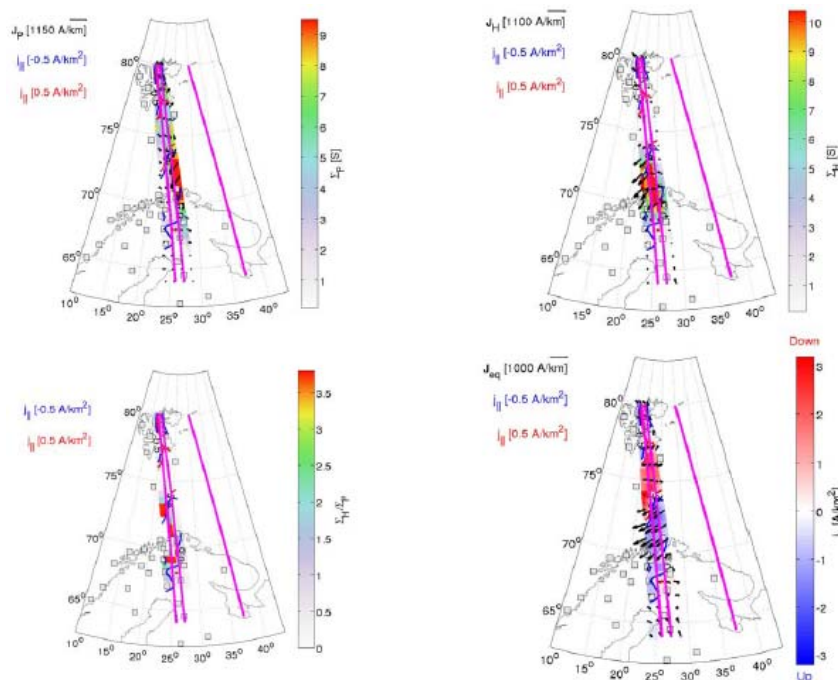


Figura 6. Hărți de conductanță, Σ_H și Σ_p (sus), raportul conductanțelor, Σ_H/Σ_p (stânga jos), curentul aliniat, $j_{||}$, și curentul ionosferic echivalent, J_{eq} (dreapta jos). Credit: Liisa Juusola, FMI.

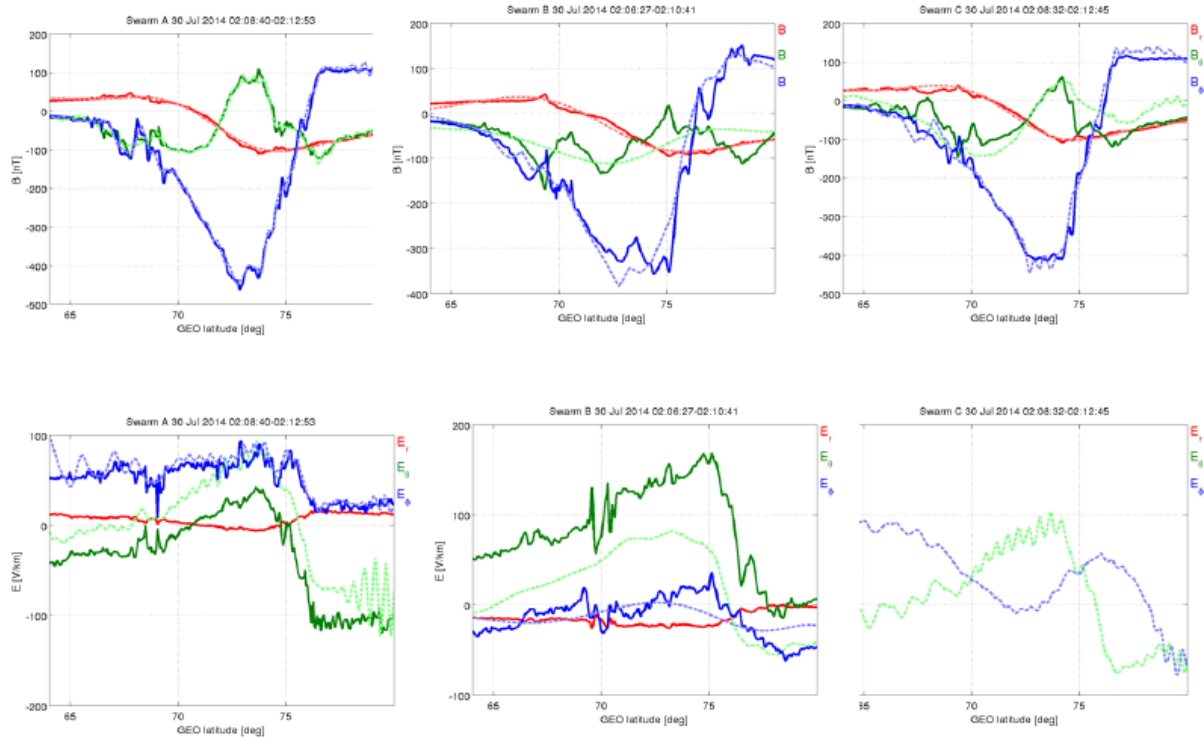


Figura 7. Test de consistență internă. Comparație între datele de câmp magnetic (sus) și câmp electric (jos) măsurate de sateliții A (stânga), B (mijloc), C (dreapta) și datele extrase din hărțile 2D ale mărimilor respective (culori pale). Credit: Liisa Juusola, FMI.

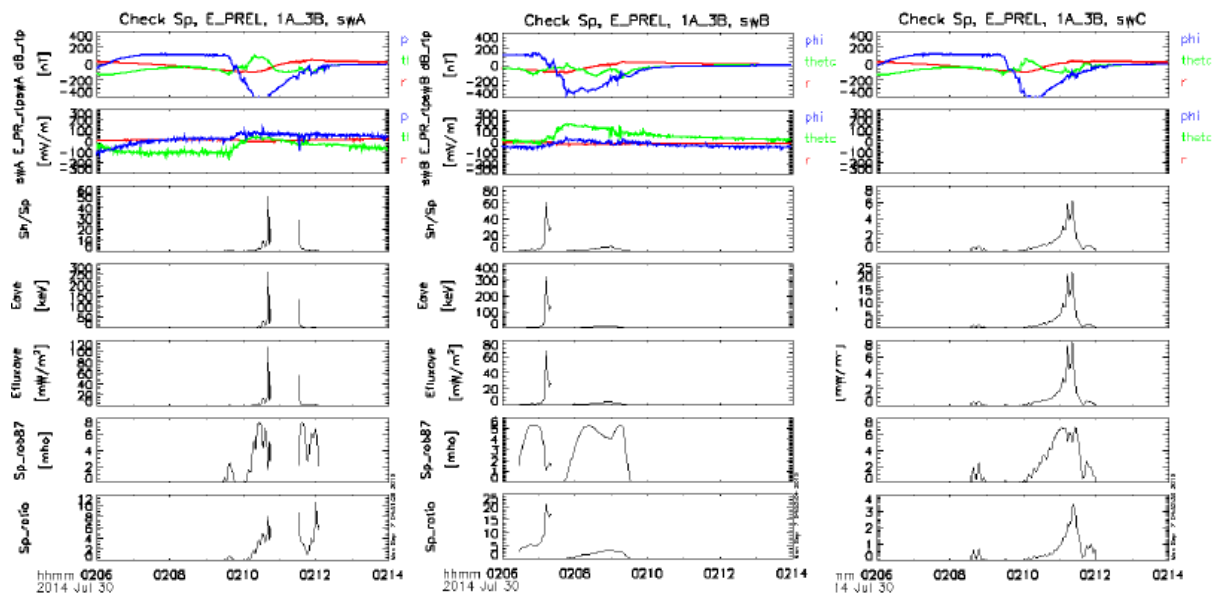


Figura 8. Test de consistență externă. Pentru fiecare satelit sunt arătate perturbația câmpului magnetic δB , câmpul electric E_PREL , raportul conductanțelor Σ_H/Σ_P , energia medie Eave și fluxul energetic mediu Efluxave corespunzătoare, estimatul conductanței Pedersen bazat pe formula *Robinson et al. (1987)*, raportul dintre acest estimat și valoarea extrasă din harta Σ_p .

6.2.3.2. Ajustarea câmpului electric și noile rezultate

Rezultatele testului de consistență externă indică valori problematice ale câmpului electric, indicație confirmată de o examinare mai atentă a câmpului electric măsurat (linii punctate în Fig. 9). Astfel, variația componentei dominante N–S diferă semnificativ de la un satelit la altul, caracteristică improbabilă în cazul unui eveniment 1D, iar valoarea acestei componente este predominant / în bună parte negativă pentru satelitul A / C, indicând orientare spre nord, în dezacord cu orientarea uzuală, spre sud, în sectorul de timp local respectiv. Pentru corectarea inconsistențelor evidente, componentele câmpului electric pentru sateliții A și C au fost ajustate empiric, folosind formulele liniare din Fig. 9 (dreapta jos), iar pentru satelitul B s-a păstrat neschimbat câmpul operațional.

Rezultatele obținute pentru câmpul electric ajustat sunt prezentate în Fig. 10–12, al căror format este identic, respectiv, cu cel al Fig. 6–8. Pentru noul câmp electric, raportul conductanțelor se micșorează până la valori maxime <2 (Fig. 10, stânga jos), în acord cu așteptările bazate pe considerente fizice, testul de consistență internă pentru câmpul electric se îmbunătățește (Fig. 11 jos), iar raportul conductanțelor Pedersen se apropie de 1, în particular pentru sateliții A și C (Fig. 12, paneele de jos). Acest raport rămâne totuși supraunitar, ceea ce sugerează că valorile Σ_p din hărțile 2D sunt sub-evaluate și arată limitele ajustării empirice a câmpului electric. Intensitatea câmpului electric, de până la 200 mV/m, este mai mare decât valorile uzuale și foarte probabil supra-evaluată, fapt compensat de sub-evaluarea Σ_p .

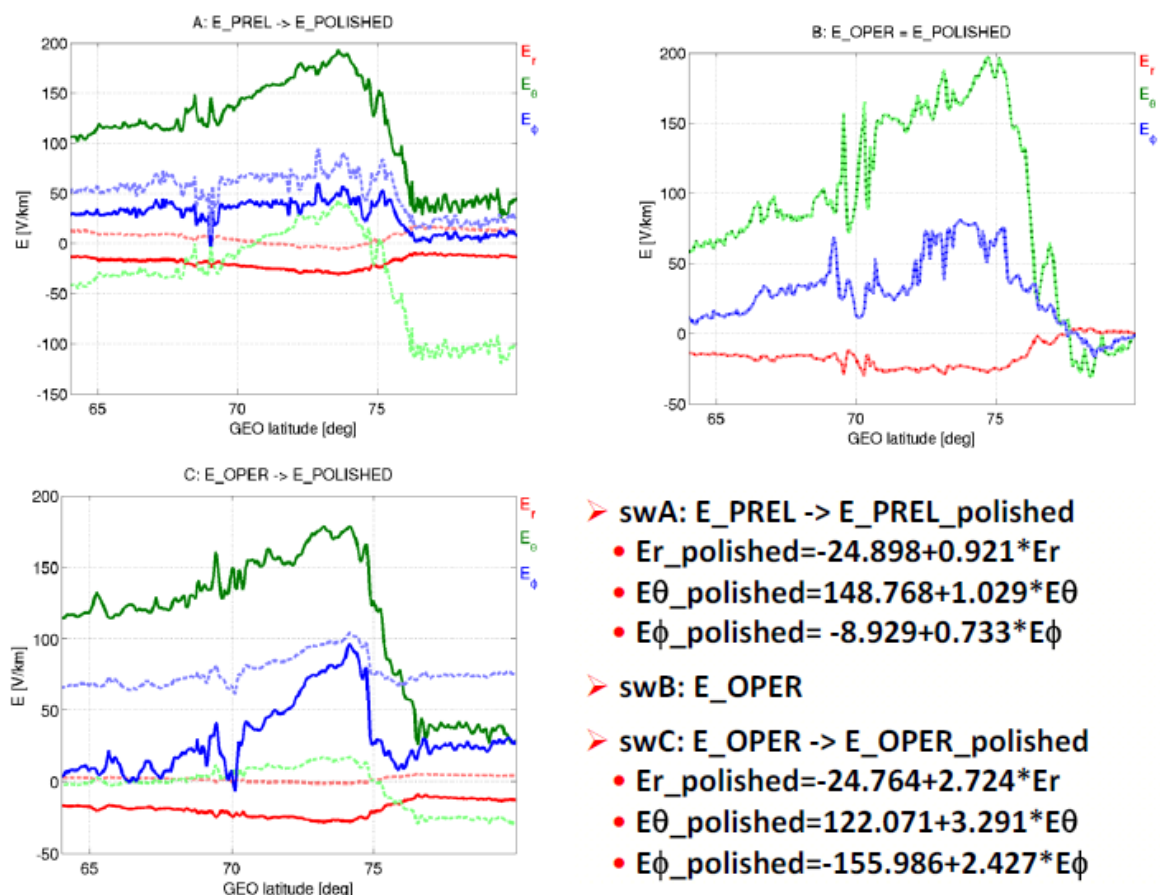


Figura 9. Ajustarea câmpului electric. Componente originale (linii punctate, culori pale) și ajustate (linii continue, culori tari) pentru cei trei sateliți (sus și stanga jos), formulele de ajustare (dreapta jos). Credit: Kirsti Kauristie și Liisa Juusola, FMI.

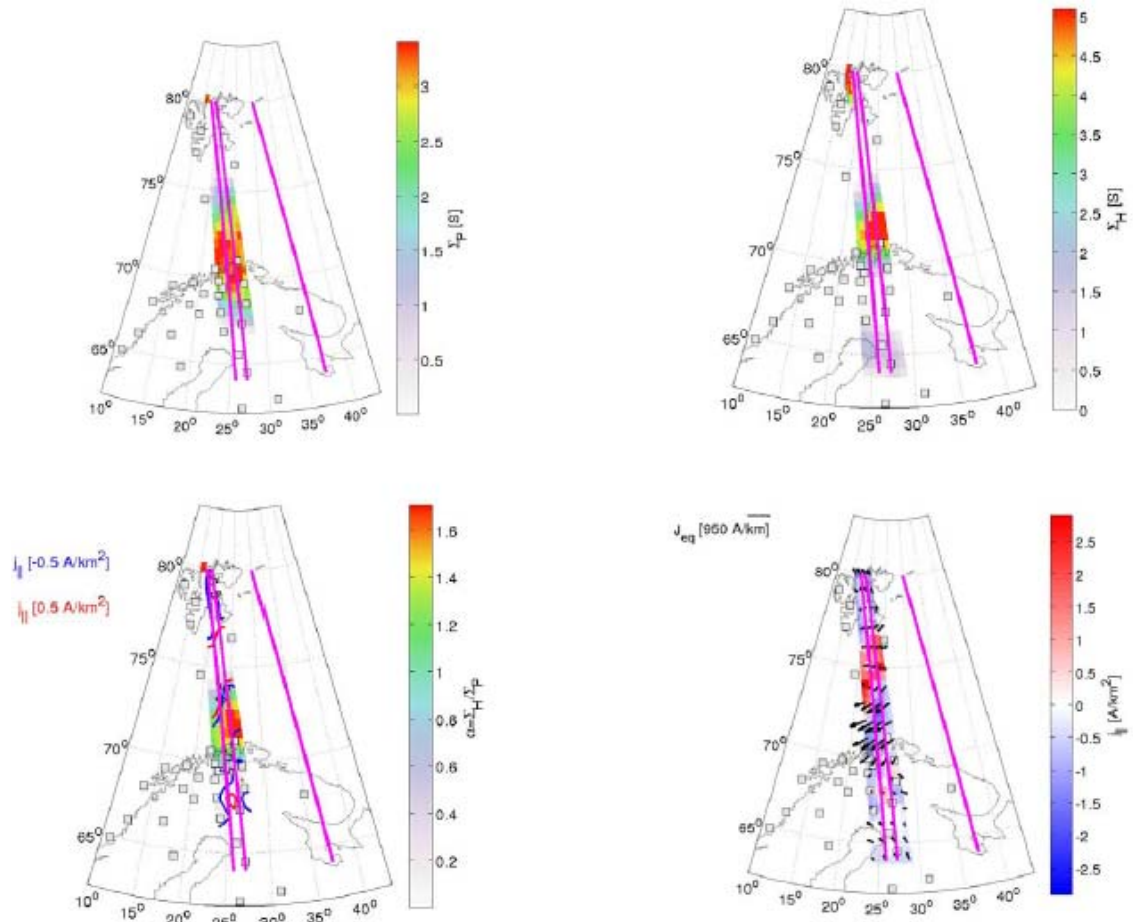


Figura 10. Hărți de conductanță și curent, același format cu Fig. 6. Credit: Liisa Juusola, FMI.

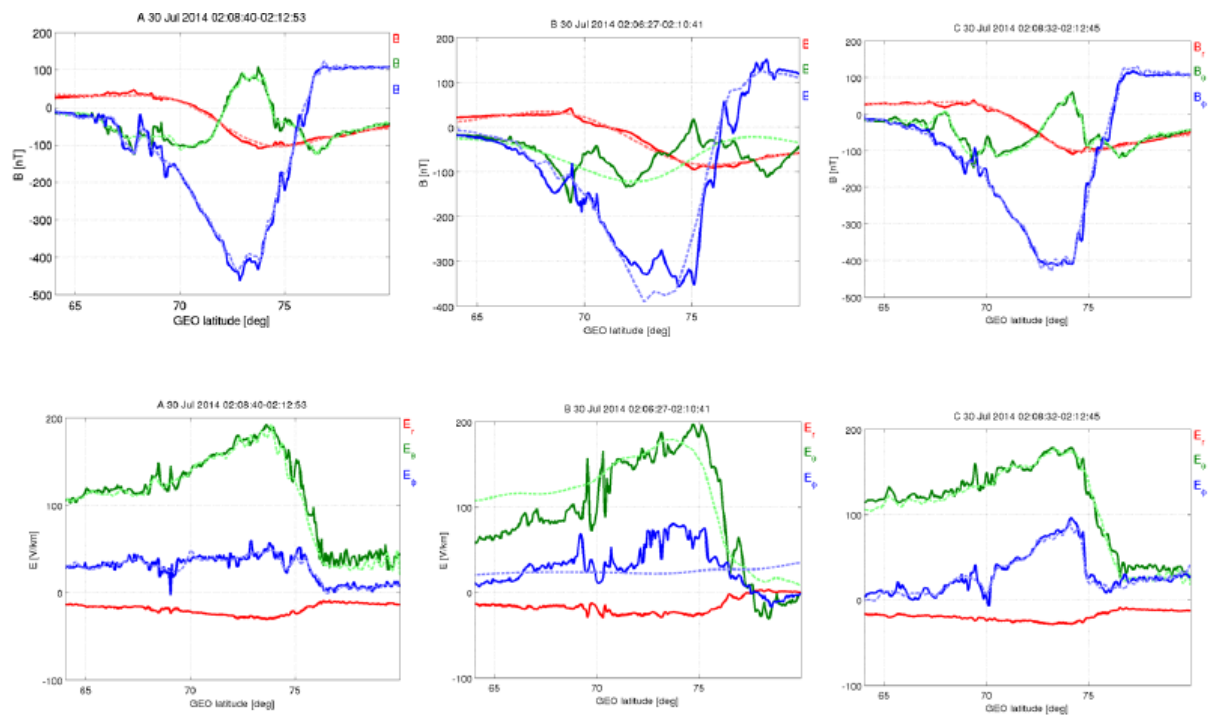


Figura 11. Test de consistență internă, același format cu Fig. 7. Credit: Liisa Juusola, FMI.

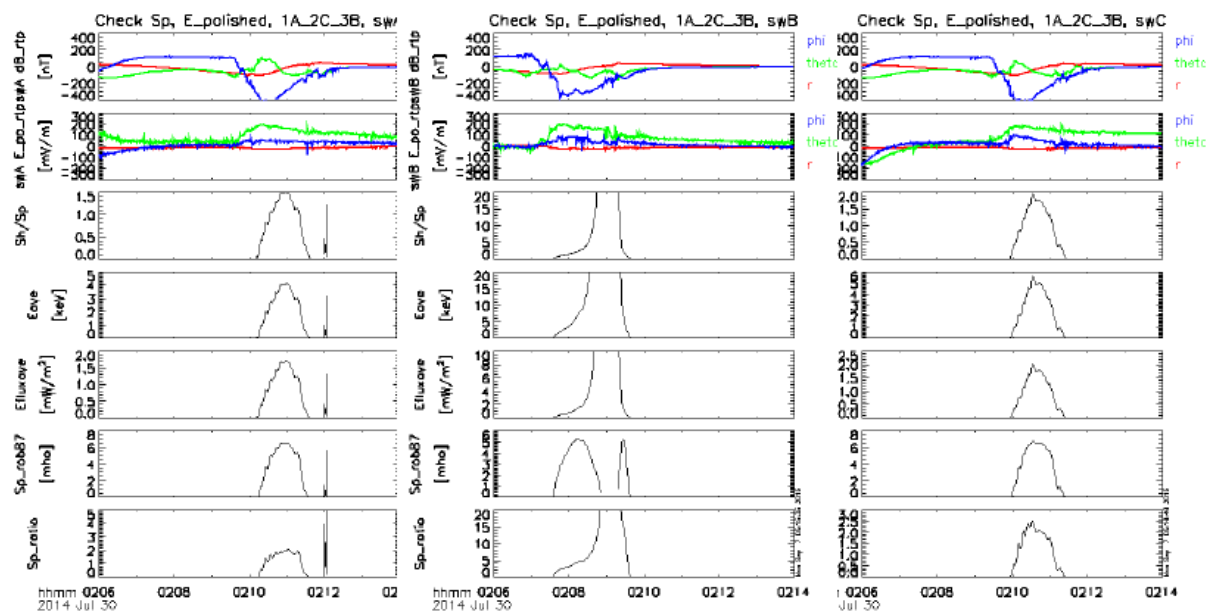


Figura 12. Test de consistență externă, același format cu Fig. 8.

6.2.4. Concluzii

Analiza prezentată mai sus, pentru un caz test, a urmărit elaborarea unei proceduri de validare a datelor de câmp electric Swarm, cu potențial de aplicare sistematică în lanțul de procesare a măsurătorilor EFI/TII. Concluziile acestei analize pot fi sintetizate astfel:

- Hărțile de conductanță (Amm *et al.*, 2015), dezvoltate la FMI, au fost testate prima oară cu date reale și rezultatele indică o bună consistență internă:
 - Mărimile dB și E extrase din hărți sunt în bun acord cu valorile măsurate, mai puțin unele offset-uri în E.
 - După ajustarea E, acordul devine aproape perfect.
- Raportul conductanțelor furnizează un criteriu calitativ asupra calității datelor de câmp electric:
 - În cazul E_OPER și E_PREL acest raport ia adesea valori sensibil mai mari ca 2, improbabile fizic.
 - Ajustarea E conduce la rezultate considerabil mai bune, cu valori în jur de 2, în particular pentru rețeaua de discretizare îngustă (unde pasul de integrare mic implică erori mai mici).
- Compararea conductanței Pedersen cu formula empirică propusă de Robinson *et al.* (1987) furnizează un criteriu cantitativ pentru evaluarea datelor de câmp electric:
 - Inacuratețea datelor de câmp electric tinde să fie compensată de inacuratețea conductanței, e.g. când câmpul electric este supra-evaluat conductanța tinde să fie sub-evaluată.
 - Acest criteriu ar putea oferi și o bază sistematică de ajustare a lui E, prin regresie multi-liniară. Detaliile procedurale, inclusiv numărul optim de parametri (maxim 18: 3 sateliți x 3 componente E x 2 parametri liniari, offset și coeficient multiplicativ), rămân de stabilit.

6.2.5. Referințe

Amm, O. (1997), Ionospheric elementary current systems in spherical coordinates and their application, *J. Geomagn. Geoelectr.*, 49(7), 947–955.

Amm, O., H. Vanhamäki, K. Kauristie, C. Stolle, F. Christiansen, R. Haugmans, A. Masson, M.G.G.T. Taylor, R. Floberghagen, C.P. Escoubet, A method to derive maps of ionospheric conductances, currents, and convection from the Swarm multisatellite mission, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 120, 3263–3282, doi: 10.1029/2014JA020154, 2015.

Robinson, R. M., R. R. Vondrak, K. Miller, T. Dabbs, and D. Hardy, On calculating ionospheric conductances from the flux and energy of precipitating electrons, *J. Geophys. Res.*, 92(A3), 2565–2569, doi:10.1029/JA092iA03p02565, 1987.

6.2.6. Rezultate

6.2.6.1. Articole

6.2.6.1.1. Articole publicate în reviste ISI

- C. Bunescu, O. Marghitu, D. Constantinescu, Y. Narita, J. Vogt, A. Blăgău, *Multiscale field-aligned current analyzer*, J. Geophys. Res., doi:10.1002/2015JA021670, in press, 2015.

6.2.6.1.2. Articole în pregătire

- C. Bunescu, O. Marghitu, J. Vogt, A. Blăgău, *Omega-like auroral undulations observed during the late recovery phase of a substorm*.

6.2.6.2. Prezentări la conferințe și seminarii

6.2.6.2.1. Prezentări invitate

- O. Marghitu, *The auroral current circuit: A review*, 26th IAGA General Assembly, Session A24. The Plasma sheet – Ionosphere, a coupled system: Sinks, sources, transport and the roles of field-aligned currents and ion outflow, Praga, Czech Republic, June 2015.

6.2.6.2.2. Prezentări orale

- O. Marghitu, L. Juusola, K. Kauristie, A. Blăgău, H. Vanhamäki, *On the possible use of ionospheric current closure in the validation of electric field data*, 5th Swarm Data Quality Workshop, Paris, France, September 2015.
- O. Marghitu, *Overview of Swarm mission*, Workshop on Solar System Plasma Physics, Bâlea Lac, România, September 2015, http://gpsm.space-science.ro/gpsm/proj/ulfmag_workshop/.

6.2.6.2.3. Seminare invitate

- O. Marghitu, *Spacecraft measurement of aurora: Review and MIT prospects*, National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Noiembrie 2015.
- O. Marghitu, *Auroral observations by satellite missions: Brief review and MIT prospects*, University of Science and Technology of China, Hefei, China, Noiembrie 2015.
- O. Marghitu, *Auroral observations by satellite missions: Brief review and MIT prospects*, Peking University, China, Noiembrie 2015.

7. Contextul și contribuția la programele ESA

Ulterior anunțului ESA referitor la *Swarm Science and Validation Opportunity (SSVO)*, August 2011, în cadrul Programului Earth Observation, un colectiv internațional coordonat de directorul proiectului ALEOS a transmis către ESA propunerea științifică *Auroral electrodynamics with Swarm (ALEOS). Implications for the magnetosphere–ionosphere–thermosphere system*. Propunerea a fost acceptată în Februarie 2012, ceea ce asigură proiectului ALEOS acces la datele Swarm relevante. În accord cu regulile ESA, resursele necesare pentru implementarea proiectului se asigură la nivel național.

Directorul de proiect ALEOS împreună cu Dr. Adrian Blăgău participă și la activități de validare a datelor Swarm în cadrul proiectului *Validation of Swarm L-1b products in the topic areas of geomagnetic field, ionosphere/thermosphere, and geodesy*, propus către ESA în urma SSVO și coordonat de Prof. Hermann Lüher, GFZ Potsdam, Co-PI al misiunii Swarm. Proiectul se bucură de spijinul Agenției Spațiale Germane (DLR) și al ESA. Participarea la activitățile Swarm de validare a datelor permite accesul direct atât la date de calitate cât și la expertiză specifică. Contribuția la validarea datelor Swarm, coordonată de Dr. Adrian Blăgău, face obiectul proiectului VALS.

Participarea la misiunea Swarm, susținută prin proiectele ALEOS și VALS, a avut un rol important în generarea următoarelor contribuții la programele ESA:

- Participare la propunerea de proiect *Energy deposition into the ionosphere from arc scales to global scales: Swarm + MHD model + ground-based observations combined (Joule3)*, coordonată de FMI Helsinki, transmisă către ESA în Septembrie 2014, în urma anunțului de oportunitate AO 7927, "STSE Swarm+Innovation", Earth Observation Envelope Program (EOEP-4). În condițiile unei competiții strânse, propunerea nu a fost acceptată, deși a obținut un punctaj foarte bun, 81.25 (din 100). Propunerea a contribuit la întărirea colaborării ISS cu FMI iar discuții ulterioare au arătat interesul ESA pentru materializarea acestui studiu.
- Participare la proiectul *SWE service developments (SSA–P2 SWE–II)*, coordonat de Deimos Space UK Ltd., în curs de contractare în cadrul programului Space Situational Awareness / Space Weather (SSA/SWE), anunț de oportunitate AO 8135. Finanțare ISS 70.000 EUR.
- Participare la proiectul *SWARM Utilisation Analysis (SSA–P2 SWE–XVI)*, coordonat de GFZ Potsdam, în curs de negociere în cadrul programului SSA/SWE, anunț de oportunitate AO 8337. Finanțare ISS 10.000 EUR.
- Pe parcursul anului 2015 au avut loc mai multe discuții cu reprezentanți ESA / Swarm privind posibilitatea deschiderii de finanțări ESA pentru susținerea unor activități inițiate în cadrul proiectelor ALEOS și VALS. Se așteaptă oficializarea acestor discuții.
- În urma prezentării susținute la 5th Swarm DQW, directorul de proiect ALEOS a fost invitat să participe la *EFI Science discussion group*, al cărui obiectiv este să contribuie la optimizarea perioadelor de funcționare a instrumentelor EFI/TII de pe cei trei sateliți Swarm în acord cu interesul științific.
- Rezultate obținute în cadrul proiectului ALEOS vor fi comunicate în cadrul Living Planet Symposium 2016 (LPS16), <http://lps16.esa.int/>, în lucrarea *Swarm exploration of longitudinal gradients in the auroral ionosphere*. În context, directorul de proiect ALEOS a fost invitat să facă parte din Comitetul Științific LPS16.

8. Concluzii

Activitățile desfășurate pe parcursul ultimei Etape a proiectului ALEOS au vizat publicarea rezultatelor obținute în analiza curenților aliniați, materializată în articolul *Bunescu et al. (2015)*, și elaborarea unei proceduri de validarea măsurătorilor Swarm de câmp electric, materializată în prezentarea *Marghitu et al. (2015)*. Referitor la datele de câmp electric, am introdus două criterii de validare, un criteriu calitativ, bazat pe valoarea raportului Σ_H/Σ_P extrasă din hărțile dezvoltate de *Amm et al. (2015)*, și un criteriu cantitativ, bazat pe compararea Σ_P , extrasă din aceleași hărți, cu estimarea independentă propusă de *Robinson et al. (1987)*.

Rezultatele obținute contribuie la un efort mai amplu, întreprins în cadrul comunității Swarm, și pot conduce la elaborarea unei metode de evaluare sistematică a datelor de câmp electric, a căror calitate este esențială pentru investigarea închiderii ionosferice a curenților aliniați. Cu toate că dificultățile întâmpinate în calibrarea și validarea datelor de câmp electric (și a celor referitoare la atmosfera neutră) au afectat îndeplinirea obiectivelor proiectului, efortul depus în cadrul ALEOS se bucură de apreciere. Este de așteptat că discuțiile în curs cu reprezentanți ESA / Swarm vor conduce la acordarea de sprijin ESA pentru continuarea acestui efort, atât în ce privește validarea datelor de câmp electric, cât și în direcția exploatarea științifică a observațiilor Swarm.

Director de proiect

Dr. Octav Marghitu

Indicatori de monitorizare/rezultat

Nr. crt.	Denumirea indicatorului	
1	sume atrase prin participarea la programele ESA (EURO)	80.000 EUR
2	nr. de nișe CDI identificate	3
3	nr. de programe opționale ESA la care se participă ¹	2 (Earth Observation, SSA/Space Weather)
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 îmbarcabile 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 entitatii 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.)	3 prezentări la conferințe și 3 seminarii (v. 6.2.6.2)
13	nr. cereri brevete depuse national/international	
14	nr. brevete înregistrate national/international	
15	nr. articole publicate sau acceptate spre publicare ⁴	1 articol publicat (v. 6.2.6.1)
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 denimirile 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