



INSTITUTUL DE ȘTIINȚE SPAȚIALE

Program STAR

Contract Nr. 20 / 2012

Electrodinamică aurorală cu Swarm

ALEOS

II. RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC

ETAPA 1

Pregătire software pentru procesarea datelor

GRUPUL DE PLASMĂ SPAȚIALĂ ȘI MAGNETOMETRIE

Decembrie 2012

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 explorarea 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 I. Pregătire software pentru procesarea datelor (conform *Plan de Realizare*)

4. Obiective Etapa

Conform *Work Package 1* din Propunerea de Proiect (obiective relevante pentru prima Etapă):

Instrumentele software disponibile vor fi optimizate pentru procesarea eficientă a datelor Swarm. Rutinele vor fi testate inițial pe date FAST. (...)

5. Rezultate planificate Etapa

Organizare și sistematizare software

Teste preliminare software cu date FAST

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

Misiunea multi-satelit Swarm va permite aprofundarea investigațiilor privind electrodinamica ionosferei aurorale și va contribui la o înțelegere mai bună a sistemului cuplat magnetosferă – ionosferă – termosferă. Proiectul ALEOS își propune să aplice tehnici dezvoltate pentru analiza datelor furnizate de misiunile FAST și Cluster la examinarea datelor Swarm. Prima Etapă a proiectului vizează pregătirea metodei ALADYN, dezvoltate anterior de directorul de proiect, pentru procesarea datelor Swarm. Raportul de față este structurat după cum urmează:

- Secțiunea 6.2.1: Prezentarea succintă a metodei ALADYN – baze teoretice, modele folosite și parametri, date necesare și schemă de aplicare, teste de consistență a rezultatelor.
- Secțiunea 6.2.2: Descrierea interfeței grafice XALADYN, care permite un acces optim la pachetul de rutine ALADYN și examinarea eficientă a evenimentelor de interes.
- Secțiunea 6.2.3: Ilustrarea utilizării XALADYN cu teste realizate pentru orbita FAST 5754. Utilizarea XALADYN a condus la îmbunătățirea consistenței rezultatelor obținute cu ALADYN.

6.2. Descrierea științifică și tehnică

6.2.1. Metoda ALADYN

Metoda ALADYN (aroral arc electro**d**ynamics, *Marghitsu et al., 2004, 2009, 2011* – în continuare M04, M09 și M11) furnizează o descriere realistă a electrodinamicii aurorale atât la scala ovalului auroral cât și la scale mai mici, corespunzătoare arcelor aurorale, folosind date măsurate de sateliți pe orbite polare. Metoda are la bază ecuația de continuitate a curentului la nivel ionosferic și un model parametric care include câmpul electric tangențial și divergența curentului electrojet. Dacă divergența electrojetului este 0, modelul de arc este 1D, iar ecuația de continuitate a curentului în sistemul de coordonate al arcului se reduce la ecuația (1). Expimarea lui $j_{||}$ cu ajutorul legii lui Ampère conduce la ecuația (2), iar prin integrarea acesteia se obține ecuația (3). În ecuațiile (1)–(3) $j_{||}$ este curentul aliniat, în A/m^2 , ξ/η este direcția normală/tangentă arcului, J este curentul ionosferic, în A/m , H_η este integrala contribuției curentului aliniat, iar c_0 este diferența constantă dintre H_η și J_ξ .

$$j_{||} - \frac{dJ_\xi}{d\xi} = 0 \quad (1) \quad \frac{d}{d\xi}(H_\eta - J_\xi) = 0 \quad (2) \quad H_\eta - J_\xi = c_0 \quad (3)$$

Un prim pas în direcția obținerii unui model 2D al arcului este considerarea unei divergențe nenule și constante a electrojetului, $\partial J_\eta / \partial \eta = c_1$. În acest caz ecuația de continuitate a curentului (1) se transformă în ecuația (4) iar prin integrare în lungul direcției ξ se obține ecuația (5). Constantele c_0 și c_1 în ecuația (5) depind, în principiu, de η , dar această dependență poate fi neglijată dacă traversarea satelitului este aproximativ normală la arcul sau ovalul auroral. În acest caz deplasarea satelitului în direcție longitudinală este mică în comparație cu lungimea de scală a electrojetului.

$$j_{||} - \frac{dJ_\xi}{d\xi} = \frac{dJ_\eta}{d\eta} = c_1 \quad (4) \quad H_\eta - J_\xi = c_0 + c_1\xi \quad (5)$$

Dacă presupunem un câmp electric uniform în direcția η , din legea lui Faraday se obține ecuația (6), $E_\eta = \text{constant}$. În același timp, E_x poate fi exprimat ca sumă a câmpului electric mediu măsurat (E_{0x}) plus o dezvoltare în serie de polinoame Legendre (G_i), conform ecuației (7).

$$E_\eta = b_0, \quad (6) \quad E_x = E_{0x} + \sum_{i=1}^{n_x} a_i G_i \quad (7)$$

Prin folosirea legii lui Ohm, pentru a exprima curentul în funcție de câmpul electric și conductanță (componentele Pedersen și Hall, Σ_p și Σ_H) și înlocuirea câmpului electric cu formele (6), (7), se obține ecuația de fit (8) pentru determinarea setului de parametri (a_i , b_0 , c_0 , c_1). Tabelul 1 prezintă parametrii de fit din ecuația (8) împreună cu unitățile lor de măsură și semnificațiile fizice asociate.

$$\frac{\sum_p}{\cos \theta} \sum_{i=1}^{n_x} a_i G_i - (\sum_H - \sum_p \tan \theta) b_0 + c_0 + c_1 x \cos \theta = H_y \cos \theta - H_x \sin \theta - \frac{\sum_p E_{0x}}{\cos \theta} \quad (8)$$

Tabelul 1. Parametrii de fit

Parametru	Unitate de măsură	Semnificație fizică
a_i	mV/m	Coeficienți de polarizare
b_0	mV/m	Câmpul electric tangențial
c_0	A/m	Curentul rezidual
c_1	$\mu\text{A}/\text{m}^2$	Divergența electrojetului

Cu $J_\xi = \sum_P E_\xi - \sum_H b_0$ ecuația (4) se transformă în ecuația (9), o ecuație diferențială de ordinul 1 în E_ξ . Membrul stâng în ecuația (9) arată divergența curentului Pedersen normal, care este alimentat de curentul aliniat, divergența curentului Hall normal și divergența electrojetului (primul, al doilea și respectiv al treilea termen din membrul drept).

$$\sum_P \frac{dE_\xi}{d\xi} + \frac{d\sum_P}{d\xi} E_\xi = j_{||} + b_0 \frac{d\sum_H}{d\xi} - c_1 \quad (9)$$

Ecuația (9) admite soluție unică atunci când membrul drept este cunoscut ($j_{||}$ și \sum_H din datele măsurate iar b_0 și c_1 au valori fixate) și câmpul electric într-un punct ξ_0 este dat. Deoarece ecuația (8) este forma integrală a ecuației (9), fixarea E_ξ într-un anumit punct este echivalentă cu fixarea constantei de integrare, c_0 . Alternativ, fixarea camp electric mediu, E_{0x} , are același efect, de a particulariza o anumită soluție. Din perspectiva datelor, aceasta este o metodă mai robustă, deoarece eroarea câmpului mediu este mai mică decât eroarea câmpului într-un punct. Cu cât ordinul dezvoltării, n_x , în ecuația (7), este mai mare, cu atât soluția aproximativă obținută este mai bună. În practică, n_x depinde de profilul conductanței, când aceasta are variabilitate mare și n_x trebuie să fie mare (în limita impusă de rezoluția datelor).

Datele de intrare necesare pentru ALADYN sunt obținute din măsurătorile de câmp magnetic, câmp electric și particule – electroni și ioni. Se presupune că evenimentele de interes sunt observate în zona întunecată a ovalului auroral, unde conductanța este datorată predominant precipitării particulelor. Estimarea contribuțiilor $\sum_{P,H}^e$ și $\sum_{P,H}^p$, corespunzătoare electronilor și protonilor, se obține potrivit *Robinson et al. [1987]* și *Galand and Richmond [2001]* cu ajutorul ecuațiilor (10) și (11), unde Φ_E este fluxul energetic în mW/m^2 iar \bar{E} este energia medie în keV, $\bar{E} = \Phi_E / \Phi_N$ – cu Φ_N fluxul numeric. Conductanța totală se obține din ecuația (12). Schema de aplicare a metodei ALADYN este rezumată în Figura 1.

$$\begin{aligned} \sum_P^e &= \frac{40\bar{E}}{16 + \bar{E}^2} \Phi_E^{1/2} & \sum_P^p &= 5.7\Phi_E^{1/2} \\ \frac{\sum_H^e}{\sum_P^e} &= 0.45\bar{E}^{0.85} & \frac{\sum_H^p}{\sum_P^p} &= 0.45\bar{E}^{0.3} \end{aligned} \quad (10) \quad (11) \quad \sum_{P,H} = \sqrt{\sum_{P,H}^e + \sum_{P,H}^p} \quad (12)$$

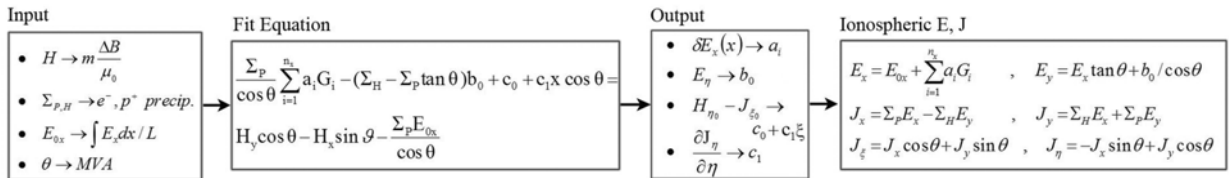


Figura 1. Schema de aplicare a metodei ALADYN, de la datele de intrare (*Input*) la câmpul și curentul ionosferic (*Ionospheric E, J*), via ecuația de fit (*Fit Equation*) și parametrii de ieșire (*Output*). Chenarul *Input* indică relația dintre datele de intrare și datele măsurate iar chenarul *Output* indică semnificația parametrilor de ieșire. Câmpul și curentul electric ionosferic sunt determinate așa cum se arată în ultimul chenar. În metoda ALADYN actualizată c_1 nu se mai obține direct din fit ci din variația lui c_0 .

Tabelul 2. Ierarhia modelelor de arc

	$c_1=0$	$c_1 \neq 0$	
$a_i=0$	NPNH	NPNHX	$b_0=0$
	NPYH	NPYHX	$b_0 \neq 0$
$a_i \neq 0$	YPNH	YPNHX	$b_0=0$
	YPYH	YPYHX	$b_0 \neq 0$

În M04 și M09 ecuația de fit (8) este rezolvată pe sub-intervale, în timp ce în M11 ecuația de fit este rezolvată în mod "continuu", folosind o fereastră alunecătoare cu un anumit pas de timp. În acest caz se testează mai multe valori b_0 , corespunzător valorilor tipice observate în zona aurorală, și se presupune că electrojetul are divergență nulă, $c_1=0$. Pentru fiecare b_0 se obține astfel o serie de soluții ale câmpului electric fitat, E_x^f (o soluție pentru fiecare poziție a ferestrei) care poate fi comparată cu campul electric măsurat, proiectat la nivelul ionosferei, E_x^m . Astfel, se calculează cantitatea δE_x :

$$\delta E_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n (E_{x_i}^f - E_{x_i}^m)^2 / n} \quad (13)$$

unde n este numărul de puncte din fereastră. În același timp rezolvarea ecuației de fit conduce și la o serie de valori c_0 (care depind de b_0), ce poate fi folosită pentru a verifica divergența electrojetului, c_1 . În această formulare a metodei ALADYN c_1 nu mai este obținut direct prin fit, ci este determinat din variația lui c_0 , $c_1 = \Delta c_0 / \Delta x \cos \vartheta$. O variație pozitivă/negativă indică o divergență pozitivă/negativă a electrojetului. Cele două seturi de profile, δE_x și c_0 , se folosesc și pentru a găsi domeniul de valori cel mai probabil al lui b_0 .

Metoda ALADYN permite verificarea rezultatelor prin trei teste de consistență diferite. În primul rând, câmpul electric ionosferic se compară cu cel măsurat, așa cum am arătat mai sus. În al doilea rând, dacă metoda ALADYN este aplicată pe sub-intervale adiacente, câmpul electric trebuie să fie continuu la marginile sub-intervalelor, cu excepția cazurilor în care sarcina de polarizare poate susține un câmp electric local divergent. În al treilea rând, potrivit ecuației (5), $H_\eta - J_\xi$ ar trebui să fie constant dacă electrojetul are divergență nulă, $c_1=0$, adică parametrul c_0 obținut prin fit, pe sub-intervale sau pe fereastra alunecătoare, ar trebui să fie constant. În acest caz curentul aliniat, măsurat prin H_η , poate fi închis numai prin J_ξ . Atunci când curentul rezidual între regiunea subaurorală și calota polara este neglijabil, c_0 ar trebui să fie egal cu 0. În timp ce versiunea inițială (M04, M09) a metodei ALADYN folosește primele două teste de consistență, în versiunea actuală (M11) al doilea test este înlocuit cu al treilea, într-o formă adaptată pentru analiza "continuu".

În funcție de valorile parametrilor de fit, din ecuația (8) se obține o ierarhie de modele de arc prezentată în Tabelul 2: „YP/NP” ($a_i \neq 0/a_i=0$) semnifică modele cu/fără polarizare, „YH/NH” ($b_0 \neq 0/b_0=0$) cu/fără curent Hall, iar divergența nenulă a electrojetului ($c_1 \neq 0$) este indicată prin „X”. Pentru fiecare eveniment investigat este necesară, de regulă, analiza mai multor seturi de parametri, corespunzător unei selecții diverse a intervalelor de timp, cu efect advers asupra timpului de procesare. Integrarea rutinelor de calcul în mediul grafic XALADYN, prezentat în Secțiunea 6.2.2, a permis creșterea semnificativă a vitezei de lucru și a condus inclusiv la îmbunătățirea metodei (M11), discutată succint mai sus. Un exemplu ilustrativ de teste în acest sens face obiectul Secțiunii 6.2.3. În prezent, elementele de optimizare ALADYN introduse în M11 sunt în curs de incorporare în mediul grafic XALADYN.

6.2.2. Organizare și sistematizare software – interfața XALADYN

Structura programului XALADYN cuprinde trei pachete principale de rutine grupate în proceduri de calcul, de reprezentare grafică și de interfațare a acestora. Primul pachet este cel al rutinelor de calcul al metodei ALADYN, al doilea pachet constă în rutinele *tplot* de reprezentare grafică a seriilor temporale, iar cel de al treilea este reprezentat de procedurile interfeței grafice. Pentru fiecare din aceste trei module există un director în rădăcina aplicației (*aladyn*, *tplot* și *interface*) iar configurarea căilor către aceste module se face în fișierul de inițializare a variabilelor de mediu (*xaladyn.sh*) din directorul principal al aplicației. De aceea, primul pas pentru a porni aplicația este de a rula acest fișier cu comanda linux *source xaladyn.sh*. Deoarece este o aplicație IDL, în fișierul *xaladyn.sh* am setat și calea către un fișier de startup IDL (*xaladyn_startup*), acesta reprezentând fișierul principal rulat la pornirea mediului IDL. În acest fișier practic încărcăm în mediul IDL toate rutinele corespunzătoare celor trei module menționate anterior.

Pachetul ALADYN este structurat în câteva categorii de rutine pentru pregătirea datelor de intrare necesare metodei și analiza setului de modele de arc. Astfel, directorul *cond* conține rutinele pentru calculul conductanțelor; directorul *mag* pentru calculul orientării foilor de curent prin metoda *minimum variance analysis* (MVA); directorul *pot* pentru calculul potențialului în lungul traiectoriei și diferenței de potențial dintre două puncte date; directorul *fit_lin* conține rutinele ALADYN pentru modelele de fit liniar (Tabel 2); iar în directorul *fit_nl* se găsesc rutinele ALADYN pentru modele de fit neliniar (cazul în care *tan θ* nu mai este calculat prin MVA din câmpul magnetic ci este parametru de fit în ecuația (8) – nediscutat în raportul de față).

Pachetul *tplot* conține un set de rutine de reprezentare grafică, configurare și stocare a seriilor temporale și spectrogramelor. Acest pachet a fost dezvoltat de către Davin Larson, University of California at Berkeley Space Sciences Laboratory, în 1995, fiind destinat inițial procesării datelor de la misiunile Wind și FAST. Ulterior, rutinele *tplot* au fost folosite și pentru alte misiuni spațiale, de exemplu THEMIS și Cluster. Pachetul *tplot* cuprinde câteva categorii de rutine dintre care menționăm: *store_data* și *get_data* pentru a stoca datele în fișiere de tip *tplot*, respectiv pentru accesarea datelor stocate; *tplot_names* și *tplot* pentru a lista variabilele accesibile, respectiv pentru a crea grafice; *tplot_options* și *options* pentru a controla opțiunile comune (titlu, margini, etc), respectiv opțiunile pentru paneele individuale (etichete, culori, etc); *xlim/ylim/zlim/tlimit* pentru a controla limitele mărimilor incluse în grafice. Detalii despre modul de folosire a diverselor rutine se găsesc în header-ele fișierelor respective sau în fișierele de comenzi pentru procesarea datelor.

Interfața grafică XALADYN a fost scrisă folosind facilitățile de programare orientată pe obiect puse la dispoziție de IDL®. Acest mediu de dezvoltare oferă un set de obiecte grafice prefabricate sau *widget*-uri (ferestre, butoane, slidere, meniuri, etc), care permit o interacție mai ușoară a utilizatorului cu aplicația. În cele ce urmează vom prezenta organizarea interfeței grafice, având la bază mai multe criterii de structurare cum ar fi: structura fișierelor, structura *widget*-urilor și structura fluxului de evenimente – tratat fie de interfață în ansamblu fie de un anumit controler.

Din punct de vedere al fișierelor, interfața constă dintr-un fișier principal (*xaladyn.pro*) din care sunt apelate toate fișierele din directorul *interface*, fiecare fișier fiind responsabil de gestionarea interacției utilizatorului cu un anumit *widget*. Nu vom menționa aici celelalte fișiere întrucât prezentarea lor va fi mai clară în relație cu organizarea *widget*-urilor sau a evenimentelor.

Fereastra principală a aplicației (Figura 2a) este compusă dintr-un *widget* de bază (*widget_base*) în care sunt plasate un *widget* de tip meniu și un *widget* de reprezentare grafică a datelor. Figura 2b prezintă structura de *widget*-uri asociată ferestrei principale. În fiecare chenar este indicat numele *widget*-ului, valoarea din meniu și funcția (sau funcțiile) care tratează interacțiunea utilizatorului cu acel *widget*.

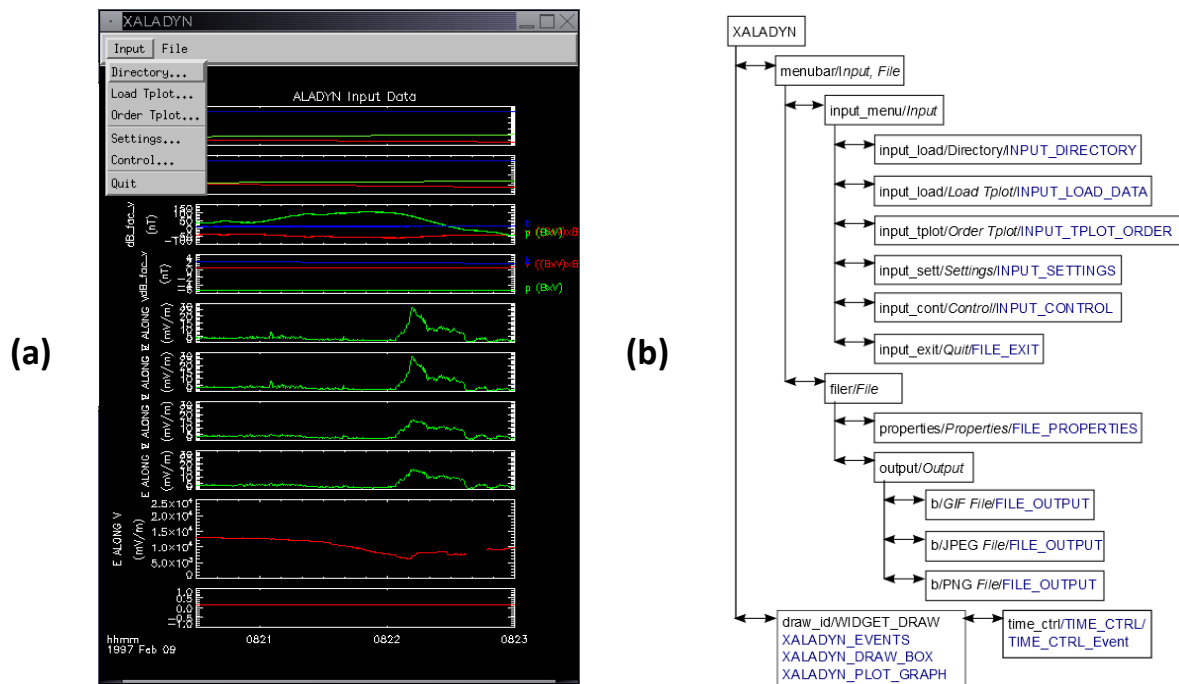


Figura 2. a) Fereastra principală a aplicației XALADYN în care sunt încărcate date FAST corespunzătoare orbitei 1859. b) Structura de *widget*-uri a ferestrei principale. În chenare sunt indicate numele *widget*-urilor, intrările din meniu (italic) și funcțiile asociate fiecărui *widget* (majuscule albastre).

Fluxul de evenimente asociate *widget*-urilor este definit de ordinea de procesare a datelor. Primul set de evenimente, asociat intrărilor din meniu *Directory*, *Load Tplot* și *Order Tplot* se ocupă de încărcarea și vizualizarea datelor:

- Meniul *Input*→*Directory* (funcția `INPUT_DIRECTORY`) transferă controlul programului la funcția `Change_Dir` (fișier `change_dir.pro`) care deschide un nou *widget* pentru selectarea directorului cu datele de analizat. După selectarea directorului și închiderea *widget*-ului, calea spre directorul cu date este transferată aplicației principale spre a fi folosită ulterior de alte *widget*-uri.
- Meniul *Input*→*Load Tplot* (funcția `INPUT_LOAD_DATA`) determină transferul execuției, împreună cu lista fișierelor tplot, din directorul selectat anterior către *widget*-ul `List_Selector` (fișier `list_selector.pro`). Acest *widget* (Figura 3a), scris de David Fanning pentru a facilita selecția variabilelor sau fișierelor dintr-o listă, a fost adaptat în XALADYN pentru selectarea unui set de fișiere tplot din directorul de date. După selectare și închiderea acestui *widget*, lista fișierelor tplot alese este transferată înapoi către funcția `INPUT_LOAD_DATA`, unde se activează *widget*-ul de `draw_id` și se apelează funcția de reprezentare grafică (`XALADYN_PLOT_GRAPH`) a fișierelor selectate. Drept urmare, datele sunt încărcate în fereastra principală, unde avem posibilitatea să le inspectăm prin selectarea cu mouse-ul a diverse intervale de timp. Pentru precizarea exactă a acestor intervale, fiecare selecție activează un *widget* în care utilizatorul are posibilitatea să confirme sau să modifice intervalul de timp (Figura 3c).

Interacția cu fereastra de reprezentare este controlată de funcțiile de tratare a evenimentelor `XALADYN_EVENTS`, `XALADYN_DRAWBOX`, `XALADYN_PLOT_GRAPH`, `XALADYN_RESIZE`, și *widget*-ul `Time_Ctrl`. De exemplu, dacă evenimentul este „DOWN” (utilizatorul ține click dreapta apăsat), se preiau coordonatele corespunzătoare evenimentului „DOWN” și se transferă informația către funcția `XALADYN_DRAWBOX`, unde se testează care este evenimentul ulterior. Dacă acesta este „UP”, avem noile limite ale graficului. Actualizarea graficului se face prin succesiunea de funcții `TIME_LIM`, `TIME_CTRL` și, în final, `XALADYN_PLOT_GRAPH`.

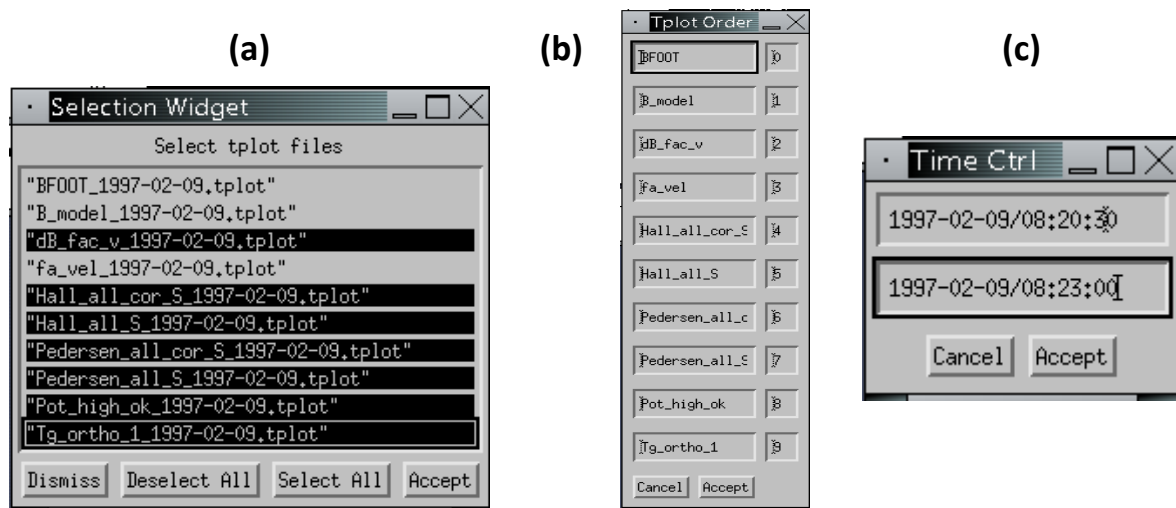


Figura 3. a) *Widget-ul asociat meniului Input→Load Tplot*; b) *Widget-ul asociat meniului Input→Tplot Order*; c) *Widget-ul asociat interacției utilizatorului cu fereastra principală pentru definirea intervalului de analiză a datelor.*

- Pentru a schimba ordinea panoulor din fereastra principală se poate apela meniul *Input→Order Tplot* (funcția `INPUT_TPLOT_ORDER`), care determină transferul controlului aplicației către funcția `Tplot_Order` (fișier `tplot_order.pro`). Acest nou *widget* (Figura 3b) este populat de lista variabilelor tplot și indexul de ordine al panelului asociat din fereastra principală. Prin modificarea acestor indecși se poate schimba ordinea de afișare a panoulor din fereastra principală. La închiderea *widget*-ului, lista de variabile tplot cu ordinea schimbată este furnizată înapoi rutinei parinte, `INPUT_TPLOT_ORDER`, și se reface graficul actualizat (cu `XALADYN_PLOT_GRAPH`).

Un grup distinct de rutine este cel destinat setării parametrilor metodei ALADYN. În meniul *Input→Setting* (funcția `INPUT_SETTINGS`) se transferă execuția către *widget*-ul `Settings` (Figura 4a), din fișierul `settings.pro`. Acest *widget* este populat cu controale de tip text pentru a prelua de la utilizator informația despre limitele de variație ale câmpului electric longitudinal, b_0 , și divergenței electrojetului, c_1 , precum și despre numărul coeficienților de polarizare – ordinul dezvoltării în serie din ecuația (7). La închiderea *widget*-ului `Settings` informația este transferată către *widget*-ul `Control` (Figura 4b), asociat cu meniul *Input→Control* (funcția `INPUT_CONTROL`).

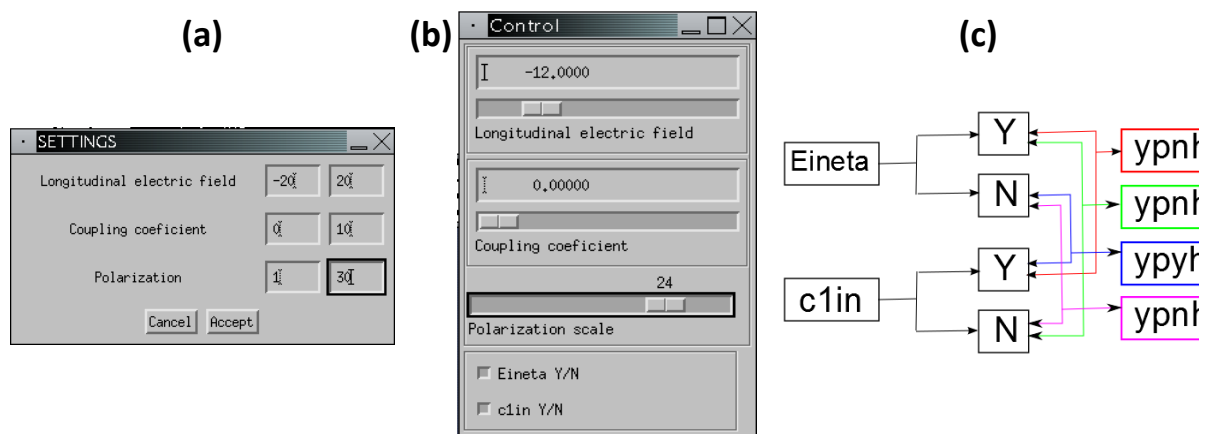


Figura 4. a) *Widget-ul asociat meniului Input→Settings*; b) *Widget-ul asociat meniului Input→Control*; c) *Schema de selecție a modelului de arc asociată celor patru combinații diferite ale butoanelor „Eineta Y/N” și „c1in Y/N”.* Implicit, ambele butoane sunt selectate („Y”). Prin extensie față de ierarhia modelelor de arc din Tabelul 2, în acest caz (modelul `ypnh`) b_0 și c_1 pot fi diferiți de 0 dar au valori fixate (nu sunt supuși fitului). La deselectarea unui buton parametrul asociat se obține prin fit.

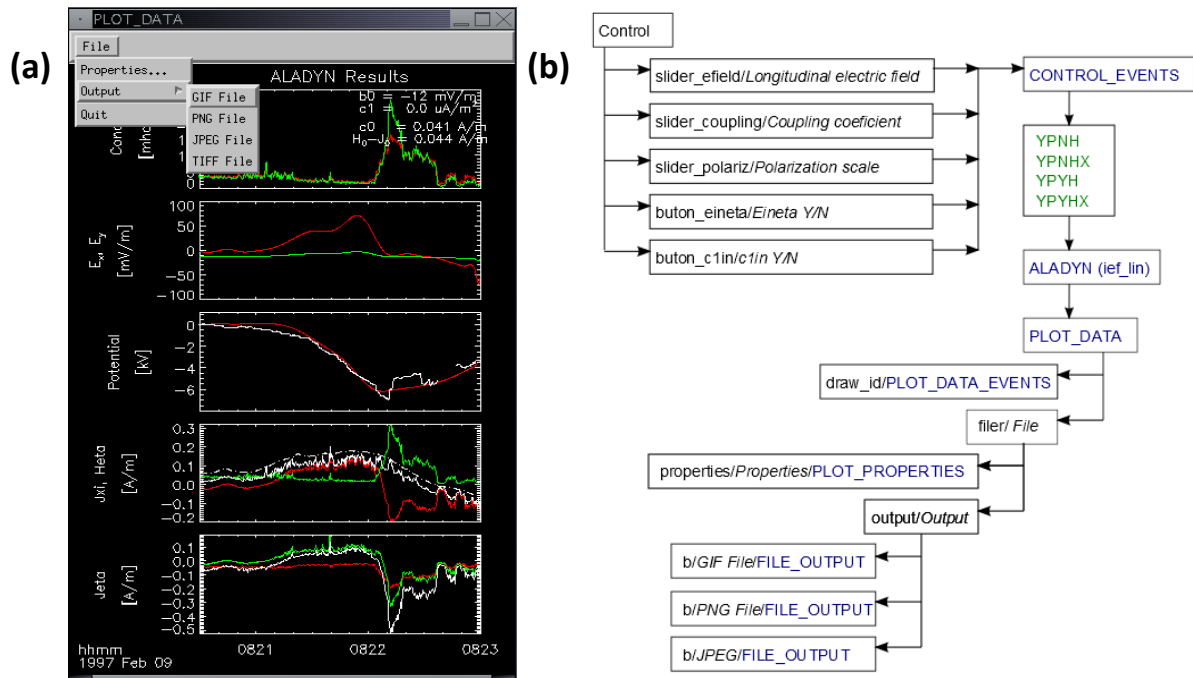


Figura 5. a) *Widget*-ul Plot_Data, în care sunt reprezentate rezultate obținute pentru intervalul 08:20:30–08:23:00, cu $b_0 = -12 \text{ mV/m}$ și $c_1 = 0 \text{ } \mu\text{A/m}^2$. Panelurile prezintă: Σ_p și Σ_H ; câmpul electric ionosferic E_x și E_y ; potențialul ionosferic (roșu) și cel măsurat de FAST (alb); curentul ionosferic J_ξ (alb) împreună cu componenta Pedersen (roșu), Hall (verde) și integrala curentului aliniat, H_η (alb punctat); curentul ionosferic J_η și componentele sale, același cod al culorilor ca J_ξ . b) Structura de *widget*-uri a ferestrei Control, similar cu Figura 2b. Modelele de arc sunt indicate cu verde.

Widget-ul Control (fișier *control.pro*) reprezintă panoul de control al metodei ALADYN, de unde se stabilesc modelul de arc (conform Tabelul 2) și parametrii corespunzători. Așa cum se observă în Figura 4b, pentru controlul parametrilor b_0 (camp electric longitudinal), c_1 (divergența electrojetului) și a_i (scala polarizării), se folosesc *widget*-uri de tip slider. În plus, pentru un control mai precis al parametrilor b_0 și c_1 , utilizatorul le poate modifica valorile și în *widget*-ul text asociat fiecăruia. Alegerea modelului de arc se face prin selectarea sau deselectarea celor două butoane, „Eineta Y/N” (asociat b_0) și „c1in Y/N” (asociat c_1). Prin extensie față de Tabelul 2, în cazul modelului ypnh b_0 și c_1 pot fi diferiți de 0 dar au valori fixate (nu sunt supuși fitului). La deselectarea unuia din cele două butoane, parametrul asociat se obține prin fit. Figura 4c arată schema de selecție a modelului de arc în funcție de valorile returnate de cele două butoane. Interfața se adresează doar categoriei de modele cu polarizare („YP”), indusă în general de neuniformitatea conductanței asociate arcului.

Interfața Control interacționează dinamic cu modulul ALADYN și cu un *widget* de afișare a rezultatelor. Astfel, la fiecare modificare a parametrilor și/sau a modelului de arc, *widget*-ul Control apelează rutina principală a metodei ALADYN (*lin_fit.pro*) iar datele de ieșire sunt transferate către *widget*-ul Plot_Data (fișier *plot_data.pro*) pentru reprezentare grafică. Plot_Data are aproximativ aceeași funcționalitate ca și fereastra principală a aplicației. Figura 5a prezintă *widget*-ul Plot_Data corespunzător rezultatelor obținute pentru orbita FAST 1859, intervalul de timp 08:20:30-08:23:00 și parametrii $b_0 = -12 \text{ mV/m}$, $c_1 = 0 \text{ } \mu\text{A/m}^2$. Ca și în fereastra principală, meniul *File*→*Properties* se folosește pentru setarea diverselor opțiuni iar meniul *File*→*Output* permite salvarea datelor în diverse formate grafice.

Cu interfața XALADYN se pot deschide simultan mai multe ferestre Control, fiecare asociată cu un *widget* Plot_Data separat. În acest fel, pot fi examinate în paralel seturi diferite de parametri sau intervale de timp diferite, ceea ce ajută la o comparație ușoară și dinamică a rezultatelor. De exemplu, am putut observa că atunci când se consideră $c_1 = 0$, parametrul c_0 poate varia de la un sub-interval la altul, în dezacord cu prezumția $c_1 = 0$. Optimizarea metodei ALADYN în M11 a rezolvat această inconsistență.

6.2.3. Teste preliminare software cu date FAST

Pentru ilustrare, am utilizat XALADYN la examinarea datelor FAST corespunzătoare orbitei 5754, prezentate în Figura 6. În acest caz observațiile optice ale University of Alaska at Fairbanks Geophysical Institute arată un arc auroral traversat de FAST în jur de 8:32:40. Fluxul energetic al electronilor, mai mare de 10 mW/m^2 , este consistent cu observațiile optice.

Rezultate obținute cu XALADYN în examinarea intervalului 8:32:00–8:37:10, corespunzător unei perturbații magnetice nenule (în panelul de jos al Figurii 6a) asociate curenților aliniați, sunt prezentate în Figura 7. Cele patru grafice din figură arată rezultate obținute pentru patru sub-intervale adiacente: 8:32:00–8:32:50, 8:32:50–8:33:30, 8:33:30–8:36:20 și 8:36:20–8:37:10. În toate cazurile câmpul electric longitudinal a fost fixat, $b_0 = -10 \text{ mV/m}$, iar divergența electrojetului a fost nulă, $c_1 = 0$. Valoarea aleasă pentru b_0 este ușor negativă, în acord cu comportamentul tipic al câmpului electric longitudinal în sectorul de timp local „seară”, traversat de FAST. Divergența electrojetului a fost presupusă zero, consistent cu modelul standard, 1D, al uni arcului auroral relativ stabil (așa cum reiese din setul complet de observații optice, neinclus în raport). Așa cum anticipam mai sus, curentul rezidual variază semnificativ, $c_0 = -0.039, -0.318, -0.184, -0.124$, pentru cele patru sub-intervale, în dezacord cu prezumția $c_1 = 0$ și cu modelul 1D al arcului auroral.

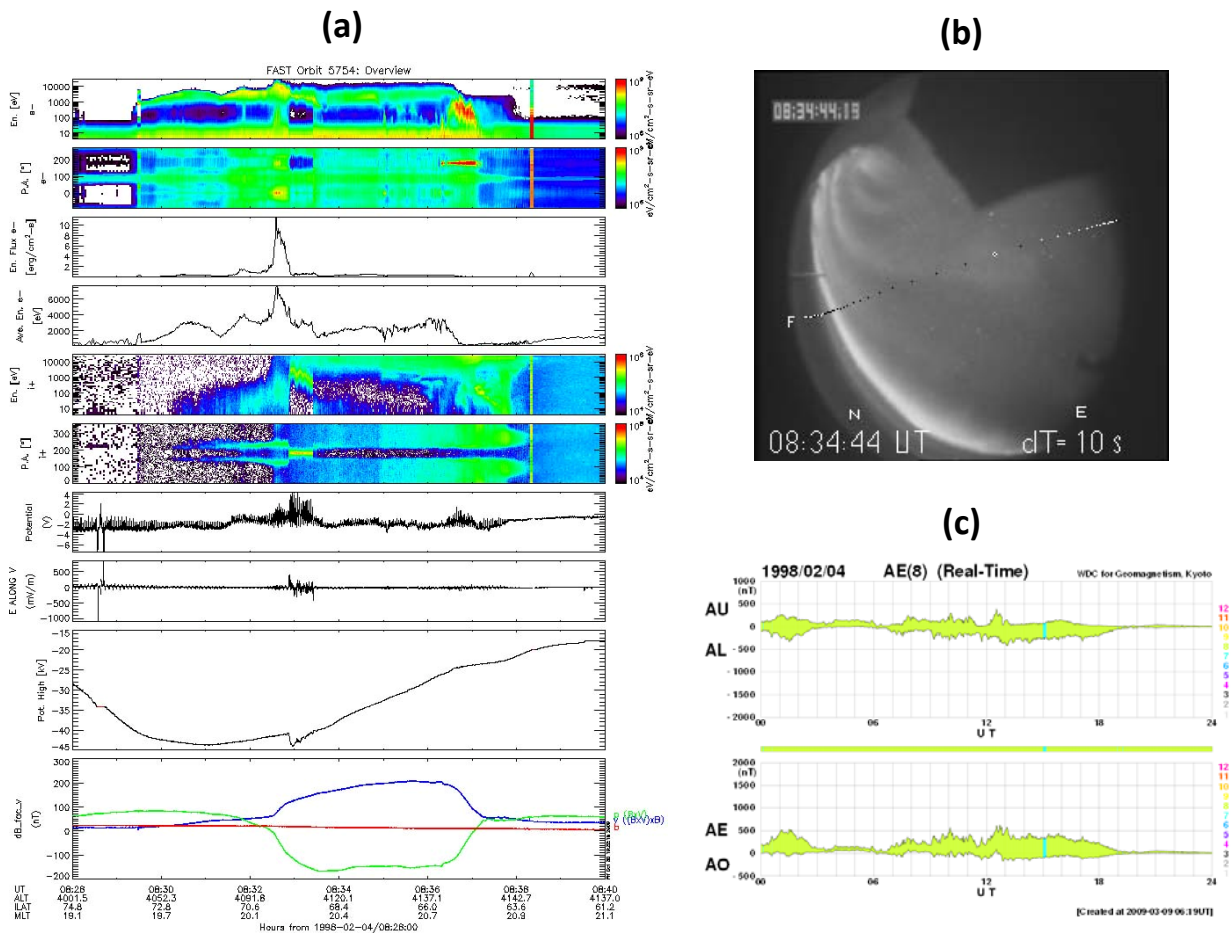


Figura 6. a) Date FAST pentru orbita 5754: spectrograma electronilor în raport cu energia și unghiul de pantă; fluxul energetic și energia medie a electronilor; spectrograme similare pentru ioni; potențialul satelitelui; câmpul electric și potențialul obținut prin integrare în lungul traiectoriei; perturbația câmpului magnetic. b) Date optice conjugate cu datele FAST, credit: H. C. Stenbaek-Nielsen, University of Alaska at Fairbanks Geophysical Institute. Arcul auroral vizibil în imagine este traversat de FAST în jur de 8:32:40. Linia punctată arată proiecția satelitelui în planul imaginii iar distanța dintre fiecare două puncte corespunde la 10 s. c) Indicele geomagnetic AE indică o stare ușor perturbată în vecinătatea momentului conjuncției.

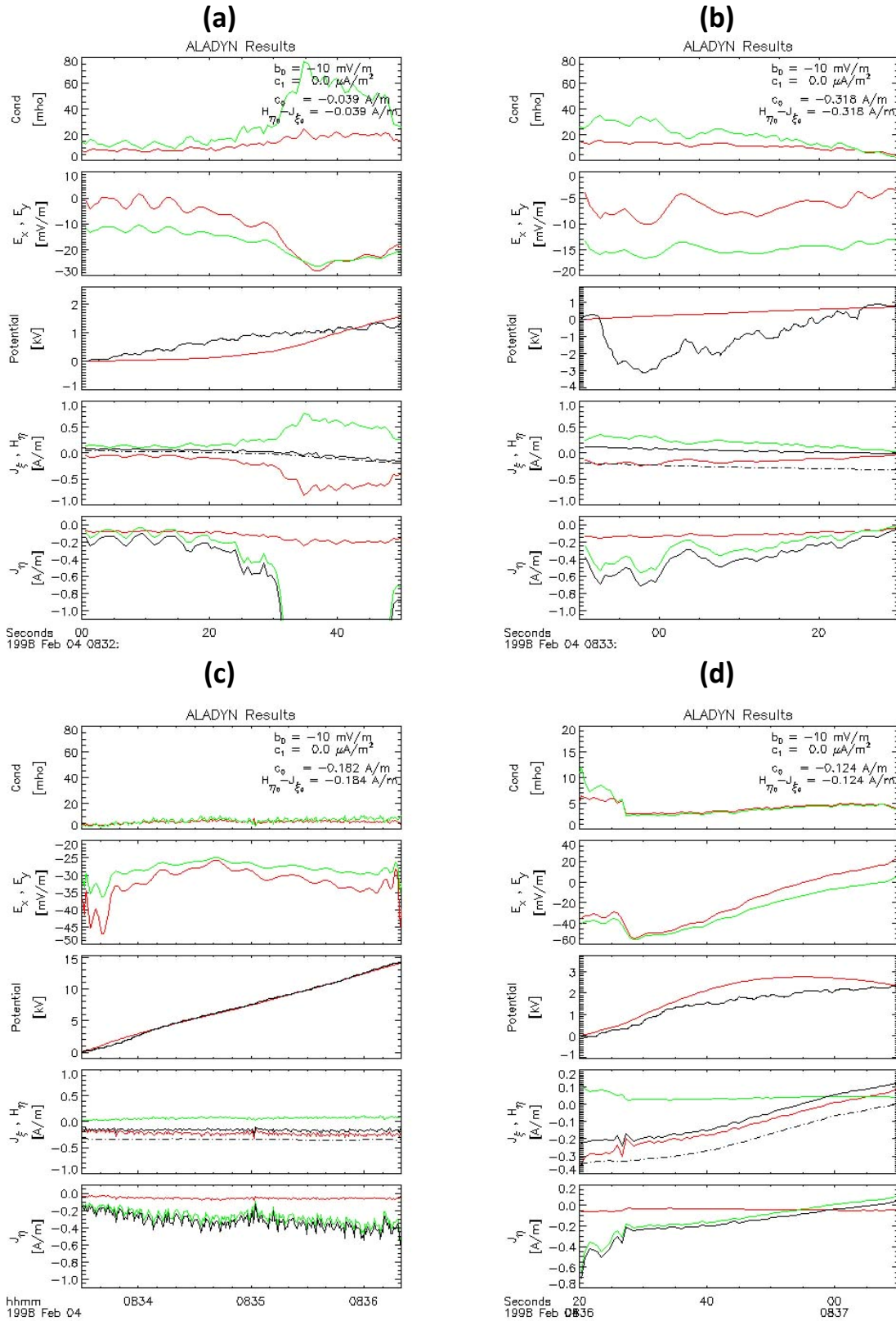


Figura 7. Rezultate obținute cu XALADYN în examinarea intervalului 8:32:00–8:37:10, împărțit în patru sub-intervale adiacente: a) 8:32:00–8:32:50; b) 8:32:50–8:33:30; c) 8:33:30–8:36:20; d) 8:36:20–8:37:10. Graficele, similare celor din Figura 5a (aici pe fond alb), arată: conductanța și câmpul electric ionosferic, potențialul ionosferic calculat comparat cu cel măsurat, curentul ionosferic meridional și integrala curentului aliniat, curentul ionosferic azimutal. Parametrii ALADYN sunt indicați în primul panel al fiecărui grafic. În toate cazurile câmpul electric longitudinal a fost fixat, $b_0 = -10$ mV/m, iar divergența electrojetului a fost nulă, $c_1 = 0$.

6.2.4. Bibliografie

- Galand, M., A. Richmond, Ionospheric electrical conductances produced by auroral proton precipitation, *J. Geophys. Res.*, 106, A1, doi:10.1029/1999JA002001, 2001.
- Marghitsu, O., B. Klecker, G. Haerendel, J. McFadden, ALADYN: A method to investigate auroral arc electrodynamics from satellite data, *J. Geophys. Res.*, 109, A11,305, doi:10.1029/2004JA010474, 2004.
- Marghitsu, O., T.Karlsson, B. Klecker, G. Haerendel, J. McFadden, Auroral arc and oval electrodynamics in the Harang region, *J. Geophys. Res.*, 114, A03,214, doi:10.1029/2008JA013630, 2009.
- Marghitsu, O., C. Bunescu, T. Karlsson, B. Klecker, On the divergence of the auroral electrojets, *J. Geophys. Res.*, 116, A00K17, doi:10.1029/2011JA016789, 2011.
- Robinson, R., R. Vondrak, K. Miller, T. Dabbs, D. Hardy, On calculating ionospheric conductances from the flux and energy of precipitating electrons, *J. Geophys. Res.*, 92, A3, doi:10.1029/JA092iA03p02565, 1987

7. Contextul și contribuția la programele ESA

Conform Secțiunii 1.3, *Aligning the project activities with ESA Programs*, din Propunerea de proiect:

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 acord cu regulile ESA, resursele necesare pentru implementarea proiectului se asigură la nivel național.

Cu referire la obiectivele misiunii Swarm, ALEOS va contribui direct la *Investigation of electric currents flowing in the magnetosphere and ionosphere* și la *Quantification of the magnetic forcing of the upper atmosphere, including studies of thermosphere densities and winds*. Prin îmbunătățirea înțelegerii curenților ionosferici, ALEOS poate contribui de asemenea la separarea câmpului magnetic intern de cel extern și prin aceasta la acuratețea determinării câmpului intern, relevant pentru obiectivele *Swarm Studies of core dynamics, geodynamo processes, and core-mantle interaction* și *Mapping of the lithospheric magnetisation and its geological interpretation*. Examinarea conjugată a câmpului electric, câmpului magnetic și vântului neutru folosind date de la cei doi sateliți Swarm pe orbite paralele sau de la toți cei trei sateliți poate ajuta și efortul de validare a datelor.

Dintr-o perspectivă mai largă, problematica științifică ALEOS este relevantă pentru Programul ESA Cosmic Vision 2015–2025, în particular pentru *Tema 2* a acestui Program, *How does the solar system work?* În acest context, proiectul ALEOS beneficiază de rezultate obținute în cadrul proiectului PECS *Energy conversion and transfer in the solar wind – magnetosphere – ionosphere system (ECSTRA)*, <http://gpsm.space-science.ro/ecstra>. Directorul de proiect ALEOS a fost Investigator Principal ECSTRA iar echipa implicată în realizarea ALEOS a participat de asemenea la Programul PECS.

Directorul de proiect ALEOS împreună cu Dr. Adrian Blăgău participă și în propunerea Swarm de validare a datelor *Validation of Swarm L-1b products in the topic areas of geomagnetic field, ionosphere/thermosphere, and geodesy*, transmisă ESA în urma SSVO și coordonată de Prof. Hermann Lüher, GeoForschungsZentrum (GFZ), Potsdam, Co-PI al misiunii Swarm. Participarea la activitățile Swarm de validare a datelor va 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, acceptat la finanțare în cadrul Programului STAR.

8. Concluzii

Activitățile programate pentru prima Etapă a proiectului ALEOS au fost îndeplinite iar obiectivele de etapă au fost atinse. Echipa proiectului este pregătită pentru realizarea activităților corespunzătoare celei de-a doua Etape a proiectului.

Director de proiect

Dr. Octav Marghitsu

ANEXA RST

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 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 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 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