

2^a Part

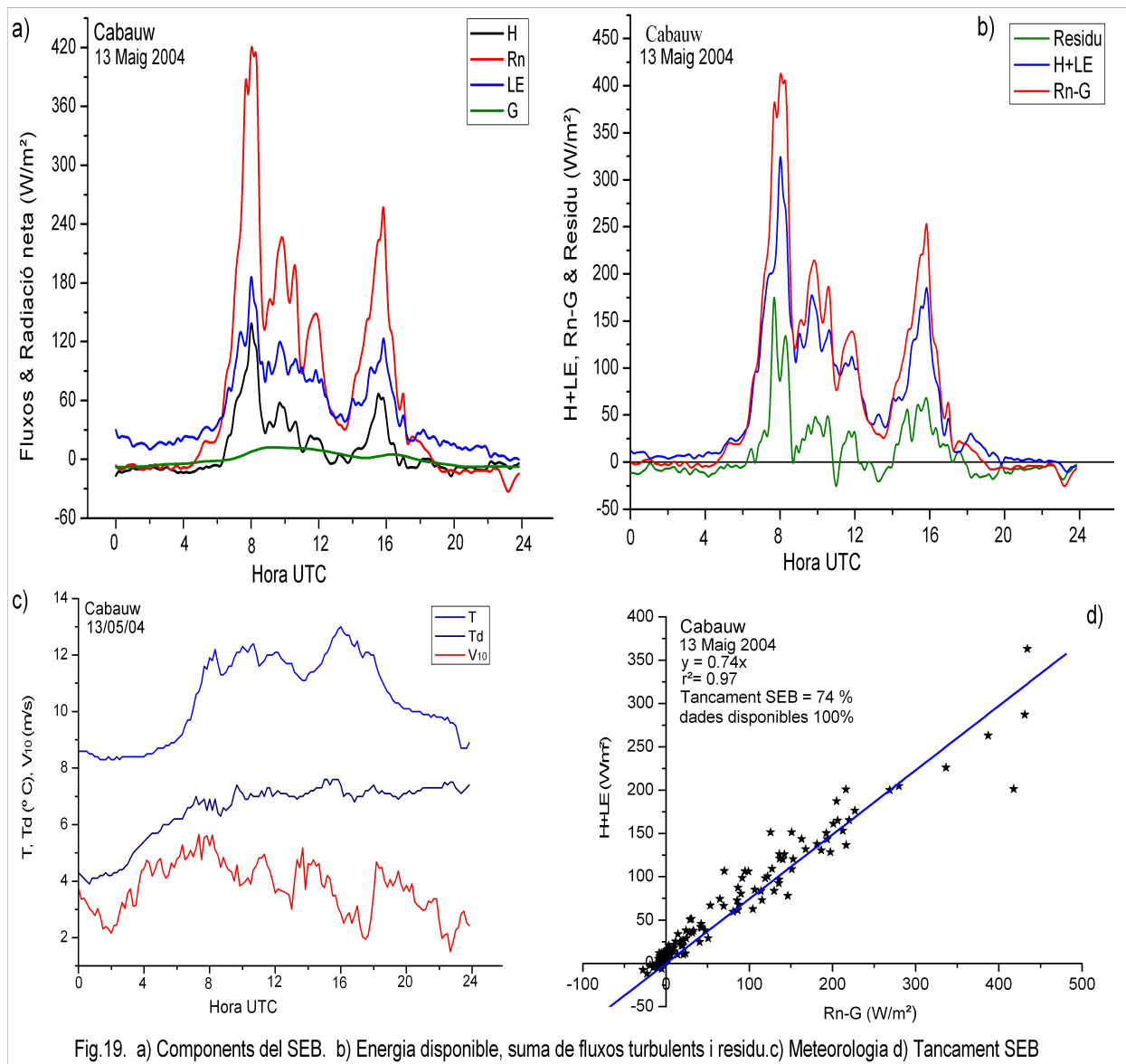
7. Anàlisi del SEB per dies isolats

En aquest apartat es pretenen fer unes anàlisis del balanç energètic a la superfície, aplicant les metodologies descrites en els apartats precedents per tal d'implementar-ho a dies concrets del període d'estudi en qüestió. Els dies han estat seleccionats a fi de mostrar la diversitat en el comportament de cadascun dels termes que conformen l'equació de balanç energètic, depenent de l'època de l'any i de les característiques del dia.

7.1. Anàlisi del 13 de Maig de 2004

A la figura 19 es mostren els elements principals d'avaluació del tancament del balanç energètic a la superfície. El dia en qüestió presentava una radiació neta oscil·lant, amb diferents màxims que van condicionar l'evolució diürna dels demés components del balanç energètic. Al voltant de les 14 hores UTC la radiació neta presentava un mínim coincident amb el flux de calor latent (fig. 19.a). La fig 19.b) mostra en hores diürnes en general un acord important entre energia disponible i la suma de fluxos turbulents que es tradueix en un residu petit d'uns 75 W/m^2 poc abans de les 8:00 hores UTC.

És interessant observar el seguit de tancaments que es produeixen en hores diürnes fruit del balanceig puntual i inclús un sobre balanceig és a dir un valor dels fluxos turbulents més gran que el valor que pren l'energia disponible de manera puntual. Aquest fenomen es visualitza de dia, poc abans de les 9 del matí, i més clarament al voltant de les 11 i entre la una i les dues de la tarda. Es produeix després d'un descens brusc de la radiació neta i de l'energia disponible, descens també observable però menys accentuat en la resposta dels fluxos turbulents. Així el resultat d'aquest comportament és l'aparició de residus negatius.



Aquesta oscil·lació diürna dels termes del balanç energètic de nit desapareix, presentant un comportament menys oscil·lant i més lineal amb residus més petits i sense tancaments tal i com succeïa en els tancaments dels cicles diaris mitjans dels mesos de la primavera i estiu. L'ajust lineal per aquest dia indica un grau de tancament del SEB del 74 % una mica per dessota de l'obtingut pel cicle diari mitjà d'aquest mes, però dins dels rangs habituals de tancament emprant el mètode d'Eddy Correlation com a mètode directe d'obtenció dels fluxos. Com acostuma a succeir en períodes càlids el major desacord es presenta en la banda alta dels valors de l'energia disponible i els fluxos turbulents degut tant a la subestimació d'aquests darrers pel mètode de Eddy, com per la presència de remolins més grans que aquest mètode no detecta amb la conseqüent pèrdua d'informació. Aquest comportament que es pot visualitzar clarament a la recta d'ajust lineal. En canvi la millor raó entre ambdós termes té lloc a la franja baixa de valors de l'espectre energètic.

7.2. Anàlisi del 17 i el 26 de Desembre de 2003

Un dels mesos que presentava un SEB del cicle diari mitjà amb pitjor tancament corresponia al mes de Desembre. Per aquest motiu és interessant estudiar el tancament d'alguns dies d'aquest mes amb detall per veure si aquest comportament és extensiu. El 17 de Desembre de 2003 va presentar un tancament molt dolent del balanç energètic a la superfície un 33% amb un volum de dades disponibles del 73 % (figura 20.d). El dia es va caracteritzar per una disminució progressiva de la intensitat del vent, permetent un refredament més marcat durant la nit si es compara amb la matinada. Analitzant els termes del balanç energètic, s'observa un refredament radiatiu més marcat avançada la tarda i durant la nit, mentre que el flux de calor sensible la segona meitat del dia pràcticament esdevé nul en comparació amb els valors negatius de la primera meitat del dia. Això s'explica per una aportació de calor de l'atmosfera cap a la superfície durant la primera meitat del dia quan la temperatura era superior, induint evaporació, d'aquí el valor positiu del flux de calor latent fins a mig matí. Això es tradueix en un residu petit fins a primera hora del matí.

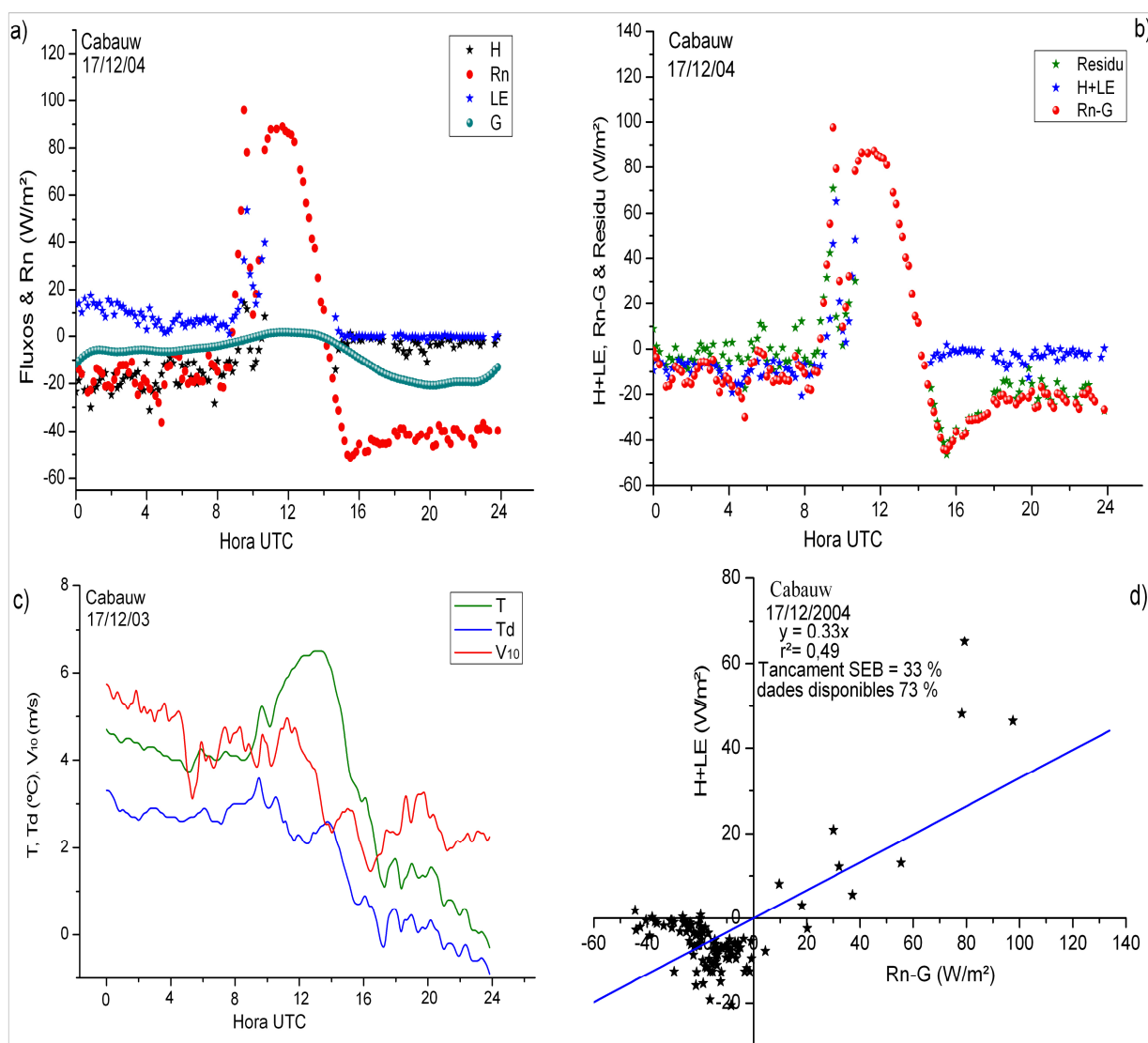


Fig.20. a)Components del SEB. b) Energia disponible, Suma dels fluxos turbulents i residu. c) Meteorologia. d) Tancament del SEB.

En canvi a la tarda nit, el fort refredament radiatiu existent, ja no es pot compensar ni amb terme del flux de calor sensible gairebé nul ni pel flux de calor latent, ja que el vent va disminuir fins esdevenir gairebé nul i per tant tampoc no hi havia generació de turbulència pel vent. Només el flux de calor del sol esdevé major i negatiu, però insuficient per balancejar el terme radiatiu. El resultat és que gairebé tot el terme radiatiu net durant el vespre i la nit esdevé residu en no ser compensat per cap dels altres termes. Aquest mal tancament de la tarda nit es pot observar a la figura 21 on es compara el tancament del SEB durant la matinada des de les 00 hores fins les 10 hores UTC, amb el tancament existent entre les 15 hores i mitjanit. En el primer cas el tancament se situa en el 41 % mentre que en el segon cas només és del 8 % resultat que corrobora el balanceig inexistent durant la segona part del dia.

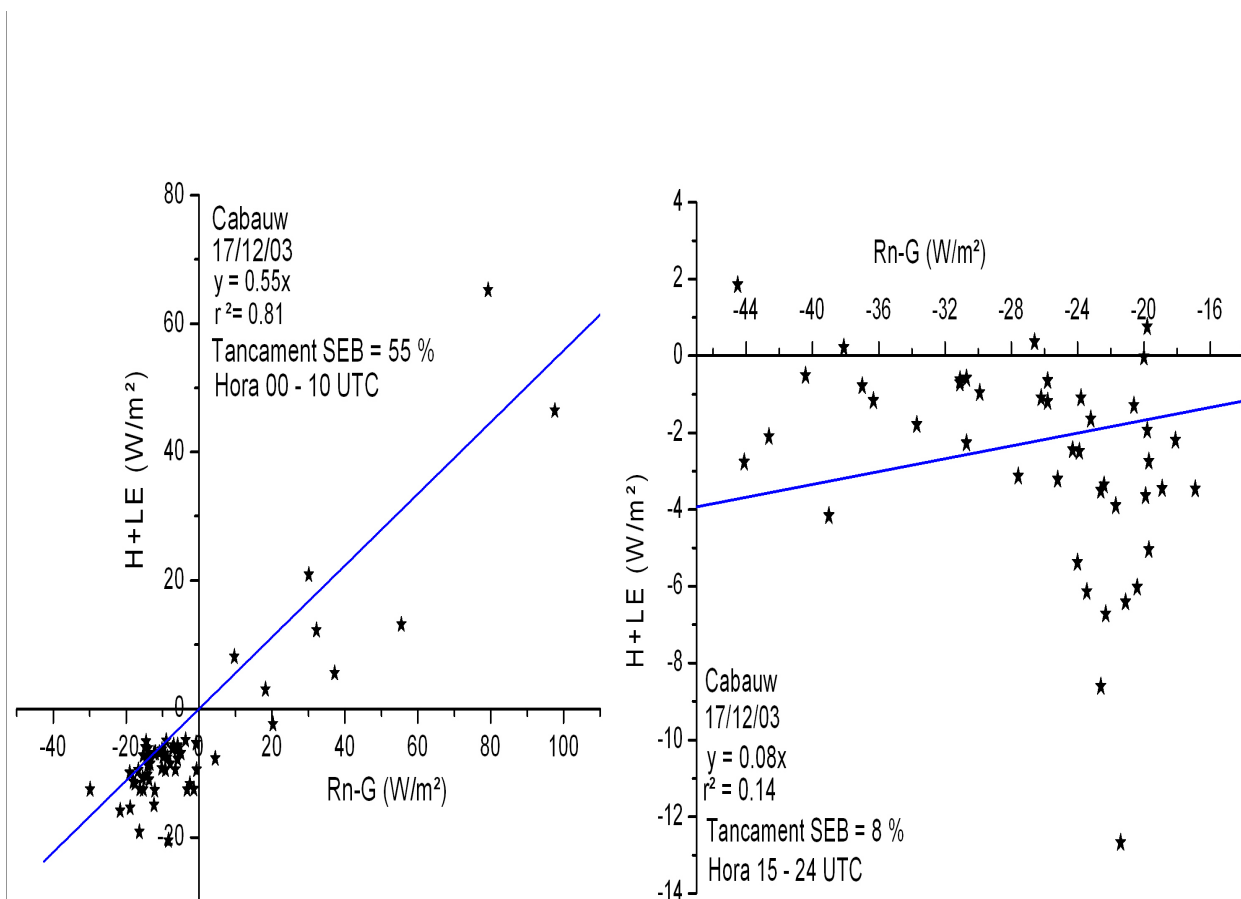


Fig. 21. Dia 17 de Desembre de 2003 a) Tancament del SEB entre les 00 -10 UTC. b) Tancament del SEB entre les 15 - 24 UTC.

El 26 de Desembre de 2003 influència de l'advecció.

Fou un dels pocs dies del mes amb un volum de registres disponible acceptable. El dia va venir marcat per l'entrada d'una advecció càlida del sud a partir de mitja tarda veure figura 22.c) que es manté fins a mitjanit. El component radiatiu atesa la brevetat de la fase diürna assoleix valors molt petits de l'ordre dels 40 W/m^2 i és negatiu quasi tota la nit.

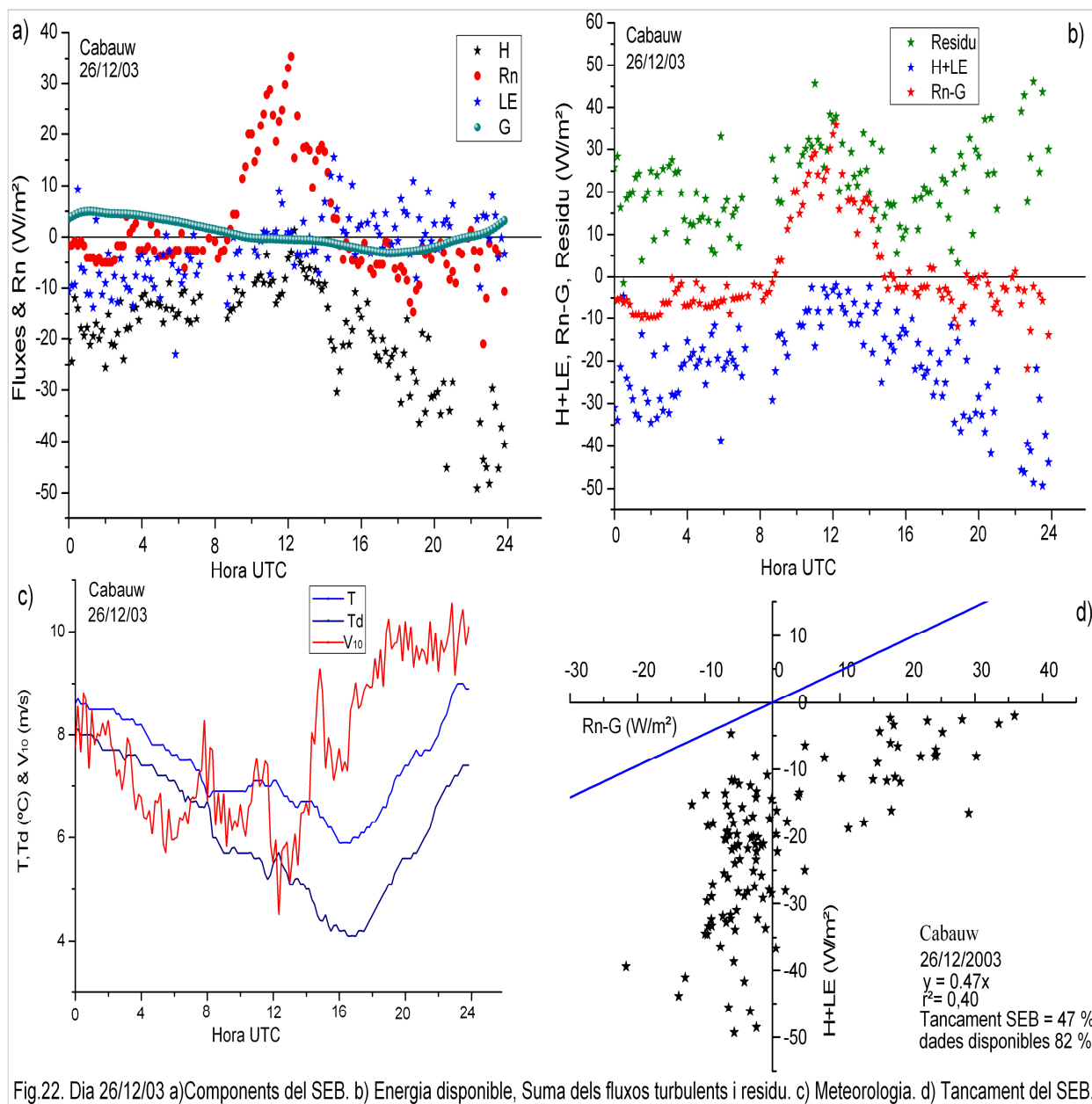


Fig.22. Dia 26/12/03 a)Components del SEB. b) Energia disponible, Suma dels fluxos turbulents i residu. c) Meteorologia. d) Tancament del SEB.

El flux de calor sensible es va mantenir negatiu les 24 hores del dia mostrant un transport de calor descendent cap a la superfície des de l'atmosfera per pal·liar en part el dèficit radiatiu i evidenciant la

importància de l'advecció càlida sobretot durant la segona fase del dia. Aquest transport de calor cap a la superfície que s'accentua durant la segona fase del dia amb l'arribada de l'advecció càlida provoca que el flux de calor latent negatiu fins aleshores esdevingui positiu. L'arribada d'aquesta advecció, provoca una major evaporació superficial. El tancament no s'assoleix en cap moment del dia, en no poder balancejar els fluxos turbulents l'energia disponible. La regressió lineal mostra un tancament del 47 % per tot el dia, mentre que entre les 17 i les 24 hores quan l'advecció és més important el tancament assoleix valors del 370 % figura 22 e). Aquest resultat s'entén com un sobre tancament produït per l'aportació d'energia suplementària fruit de l'advecció càlida que situa la suma dels fluxos turbulents en uns llindars que no poden ser compensats per l'energia disponible. Durant tot el dia el residu va ser positiu, augmentant la segona meitat de la tarda i nit quan el flux de calor sensible esdevé més negatiu donant com a resultat una suma de fluxos turbulents negatius coincidint amb el reforçament de l'advecció càlida. En aquest cas el mal balanceig i tancament del SEB es deu a l'advecció càlida, mostrant que el mal tancament pot dependre de la situació existent. L'elevada dispersió dels registres dels fluxos turbulents poden ser conseqüència de l'efecte del vent moderat que va bufar durant bona part del dia alterant la resposta dels fluxos turbulents en comparació amb els registres del dia 17 del mateix mes molt més nítids i menys dispersos.

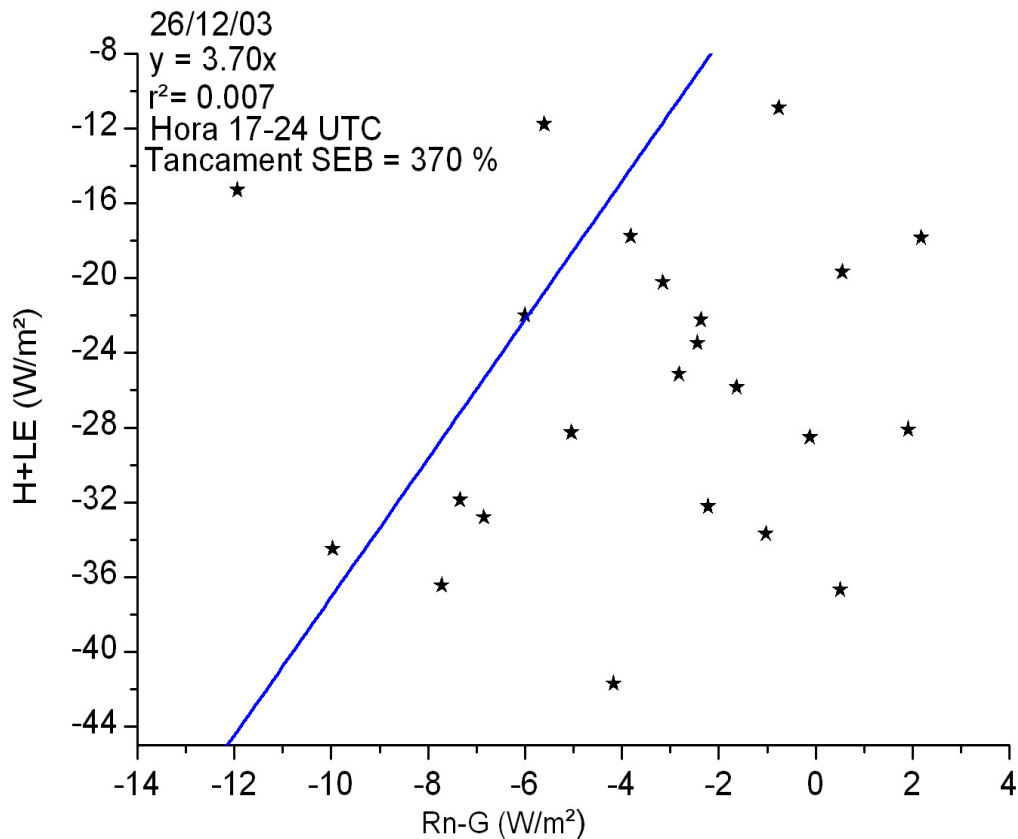
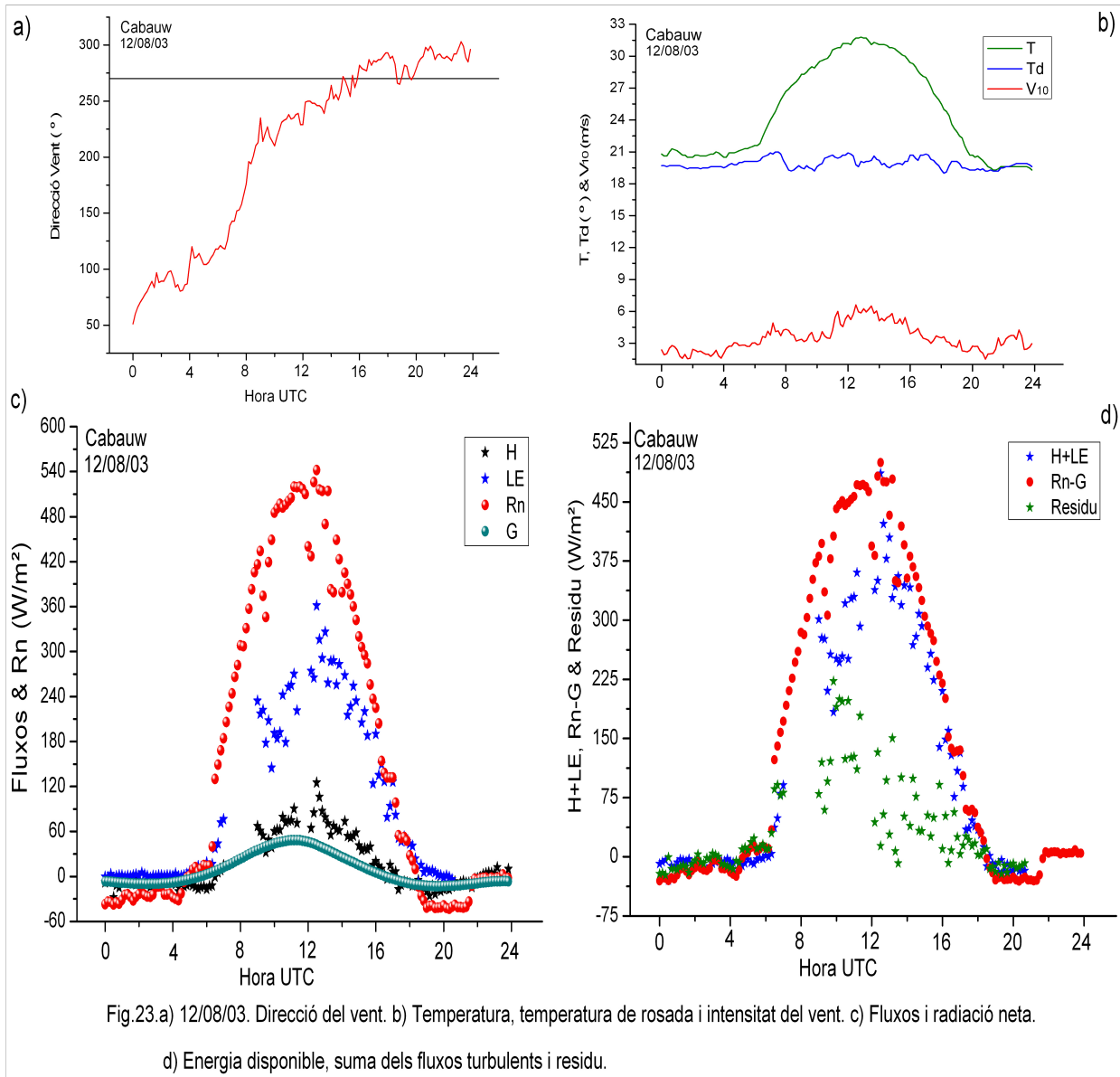


Fig. 22 e) Tancament SEB entre les 17 i les 24 UTC del 26/12/03.

7.3 Anàlisi del 12 d'Agost de 2003. Influències de la no homogeneïtat del terreny.

A Cabauw el 12 d'Agost de 2003 va ser un dia d'estiu amb dos protagonistes clars, les altes temperatures durant les hores centrals del dia que varen assolir els 32 ° C a primera hora de la tarda i el vent d'intensitat entre feble i moderada, però el més rellevant de tot va ser la seva procedència de l'oest a partir de migdia. Figura 23.a) i b). La importància de la direcció del vent rau en la proximitat de camps de conreu de blat de moro tal i com s'ha esmentat a l'apartat 2, situats al sector de ponent de l'estació que poden tenir un efecte important vers els fluxos turbulents, basicament per la modificació de la rugositat de la superfície i l'accentuació de la no homogeneïtat del terreny. La figura 23.c) mostra un terme radiatiu important durant les hores centrals diürnes arribant als 570 W/m², efecte diürn que es veu en el flux de calor del terra i els fluxos turbulents de calor sensible i calor latent. Aquest darrer terme és important fins a migdia, mostrant un petit màxim poc després d'aquesta hora que indica una evaporació rellevant que es mantindrà fins ben entrat el vespre. Màxim que també coincideix amb el que apareix en el temps pel flux de calor sensible. De fet si s'observa el comportament de la suma dels fluxos turbulents, enfront de l'energia disponible el més rellevant és la reproducció d'aquest màxim poc després de les 12 hores i sobretot la tendència al balanceig entre ambdós termes des de primera hora de la tarda fins a la nit. El residu mostra una vegada més aquest comportament, disminuint progressivament durant la tarda i el vespre moment en què s'assoleixen tancaments. El tancament del SEB global per aquest dia es va situar en el 75 % veure figura 24.c). Les figures 24.a) i b), mostren el comportament dels fluxos de calor sensible i calor latent respecte del cicle diari mitjà d'aquests termes pel mes d'Agost en qüestió i d'on es pot concloure que el flux de calor latent segueix el comportament del cicle diari mitjà del mes fins una mica abans del migdia. A partir d'aquest moment es mostra molt per sobre d'aquest, indicant que és un dia d'una significativa evaporació afavorida per les altes temperatures de la jornada, però també per la possible influència sobre el flux de l'evaporació dels camps de blat de moro accentuada per aquestes altes temperatures i advectada pels febles vents de ponent al llarg de la tarda. En canvi el flux de calor sensible segueix les pautes de comportament del mes en qüestió durant tot el dia. A fi de calibrar el grau d'influència dels camps de blat de moro i la no homogeneïtat de la superfície sobre el flux de calor latent durant aquest dia, a la figura 25 es mostren tres ajustos lineals del flux de calor latent respecte la radiació neta en diferents fases del dia. A la fig 25 a) es representa aquesta 'ratio' per tot el dia indicant que el flux de calor latent suposava un 53 % de l'energia aportada per la radiació neta. Entre les 6:30 am i les 14:00 pm. el flux de calor latent respecte de la radiació neta equivalia a un 52 % del total, mentre que entre les 14:00 i les 20:00 pm la 'ratio' pujava fins a situar-se en el 67 %. Fig 24 b) i c).



Aquest resultat obtingut entre les dues de la tarda i les vuit del vespre és molt important ja que és molt proper als valors obtinguts en camps de blat de moro on la 'ratio' se situa per sobre del 70 % (Zhang Yongqiang, 2002.). Si tenim present que els camps de blat de moro no estan específicament on està ubicada la torre de mesura dels fluxos de l'estació, però prou a prop al sector de ponent d'aquesta, el feble vent de ponent en creuar els cultius de blat de moro ha d'evaporar i exercir un efecte en un dia tant càlid com aquest sobre el flux de calor latent mesurat a l'estació, tot i ser l'advecció de component zonal i tenir res a veure amb la naturalesa del flux de calor latent mesurat a la torre verticalment.

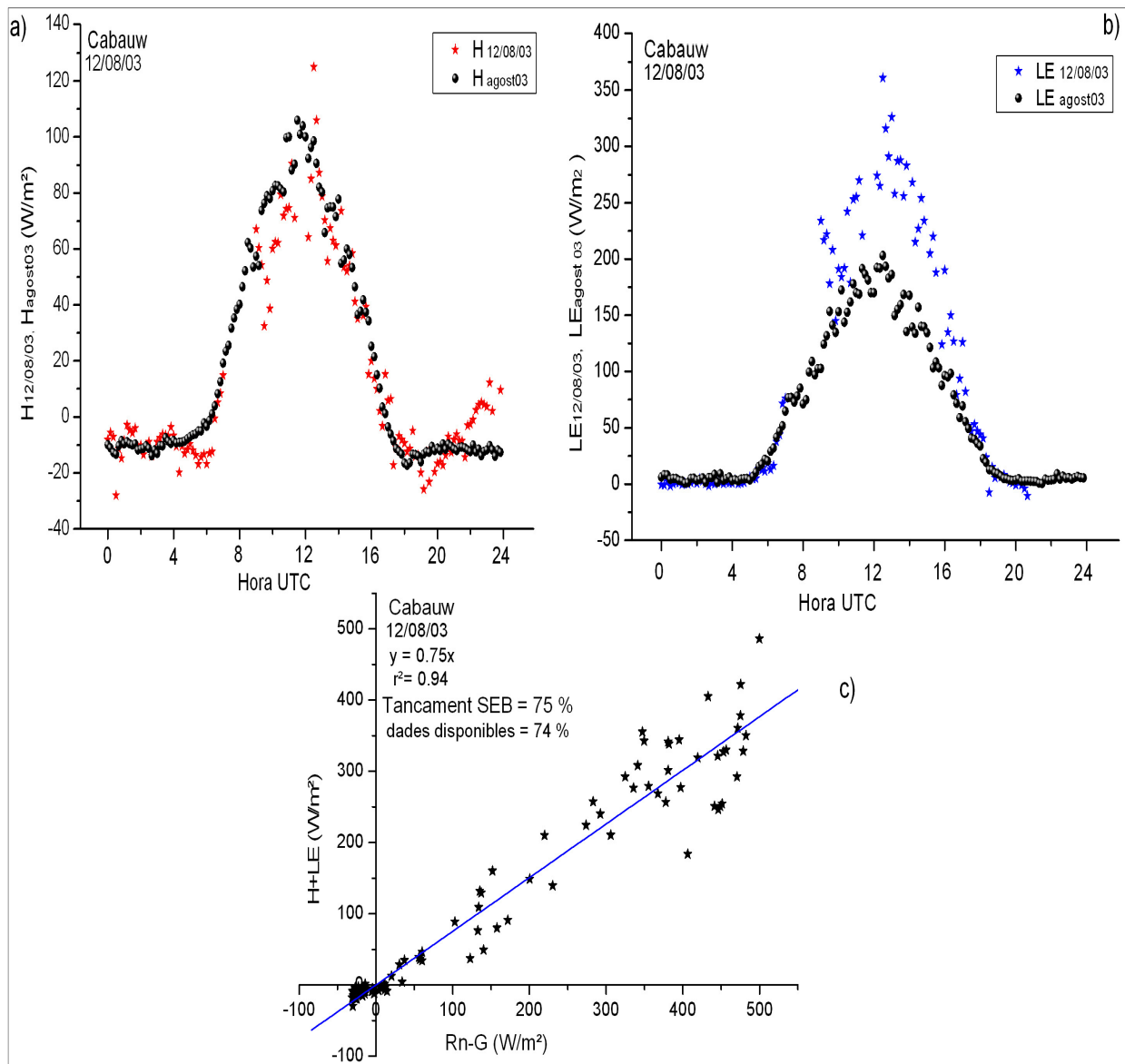


Fig.24.a) Flux de calor sensible del 12/08/03 menys fluxe calor sensible del cicle mitjà diari Agost de 2003. b) fluxe de calor latent de 12/08/03 menys fluxe calor latent del cicle mitjà diari Agost de 2003. c) Tancament SEB .

El Grau de tancament per aquest dia s'explica d'una banda per la distorsió del balanç d'energia degut a l'efecte de l'advecció i l'augment que provoca d'evapotranspiració (Longhui Li et al., 2007) i per altra banda l'efecte de la no homogeneïtat del terreny degut a la presència dels conreus de blat de moro, que origina remolins no detectats amb el mètode Eddy en situar-se en escales temporals més grans. El resultat final observat d'aquests efectes durant la segona meitat del dia mostra una millora del tancament respecte el que es va obtenir durant la primera part del dia.

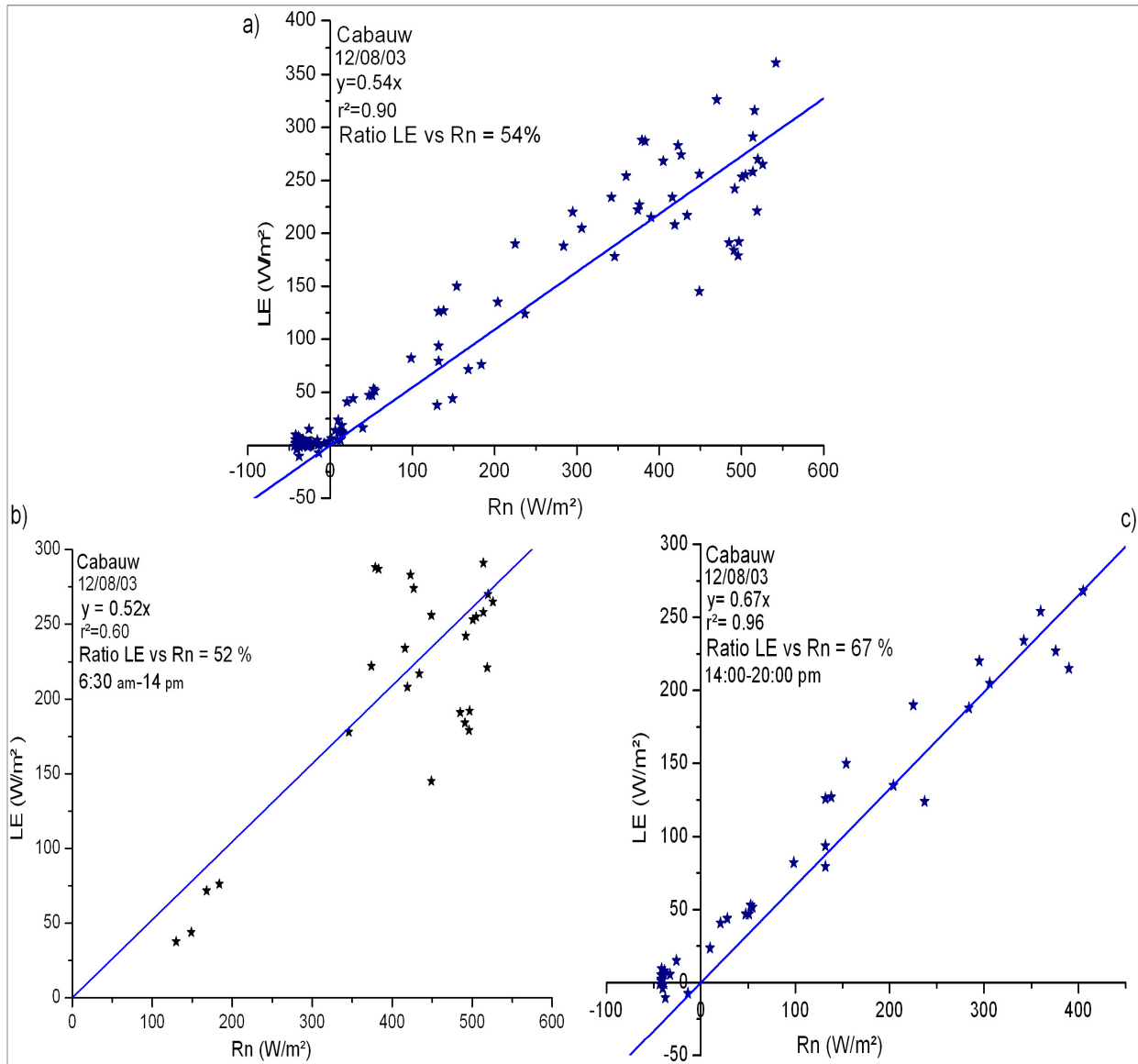


Fig.25. a) Ratio de LE vs Rn del día 12/08/03. b) Ratio de LE vs Rn entre les 6:30 am-14:00 pm del 12/08/03. c) Ratio LE vs Rn entre les 14:00-20:00 pm del día 12/08/03.

8. Conclusions

El propòsit d'aquest treball s'ha basat en l'estudi del tancament del balanç energètic a la superfície a la zona de Cabauw, Holanda, analitzant la importància de cadascun dels termes que conformen l'equació del balanç. L'anàlisi del comportament dels tancaments del SEB dels cicles diaris mitjans de cada mes, va indicar un comportament molt bo els mesos de Maig, Juny i Juliol situant-se entre el 80 i el 85 % de tancament. Un comportament bo els mesos d'Agost, Setembre, Octubre i Novembre de 2003 i Gener, Març i Agost de 2004, amb tancaments entre el 65 i el 80 %. Regular els mesos de Febrer i Abril amb tancaments situats entre el 55 i 60 % i dolent el mes de Desembre amb un tancament del SEB del 32 %. Aquesta anàlisi va posar de manifest l'existència de tancaments nocturns a la tardor i l'hivern durant els mesos d'Octubre a Febrer mentre que a la primavera i l'estiu no es varen presentar. El residu mitjà diari durant aquests tretze mesos es va situar en 14.6 W/m^2 amb una desviació estàndard de 16.6 W/m^2 i un rang situat entre els 87.4 i -25.7 W/m^2 . En canvi els residus diaris en moments puntuals es van situar entre els 200 W/m^2 i els -25 W/m^2 visitant en algun instant tancaments locals. Durant l'estudi de tancaments diaris per dies isolats es va veure com durant els mesos d'estiu afectaven el tancament del SEB els canvis de rugositat del terreny i la no homogeneïtat de la superfície provocant una alteració del flux turbulent de calor latent degut als cultius com el blat de moro situats a ponent de les torres de mesura dels fluxos de Cabauw. També es va veure que l'efecte de les adveccions càlides afectava al tancament del balanç energètic a la superfície, en alterar el flux de calor sensible i calor latent. Durant el dia oscil·lacions sobtades del terme radiatiu es va veure que facilitaven tancaments puntuals del SEB.

Dels diferents resultats es conclou l'existència d'un no tancament del balanç de calor a la superfície degut al valor major que pren l'energia disponible $R_n - G$ enfront de la suma dels fluxos turbulents de calor latent i calor sensible $H + LE$. La diferent mostra de disponibilitat de dades que presentaven els mesos estudiats es va veure que no afectava de manera significativa el resultat dels tancaments.

El tancament del SEB es conclou que està subjecte a afectacions de caire observacional i instrumental així com les limitacions del propi mètode de Eddy Correlation, limitacions teòriques basades en l'homogeneïtat horitzontal de la superfície. A la pràctica la inhomogeneïtat és la situació prevalent a la superfície i provoca que se subestimïn els fluxos de calor latent, calor sensible així com la mala determinació del flux de calor del terra. Aquesta darrera causa és segurament la més important des del punt de vista conceptual, ja que explicaria el desajust comptable existent entre l'energia que interacciona entre la superfície i l'atmosfera. En aquest sentit i per minimitzar el desajust energètic plantejarem dues vies per millorar els resultats. Una d'elles consistiria en introduir un o diversos termes addicionals en l'equació de balanç energètic a la superfície a fi de poder tenir en compte millor la interacció i transferència energètica entre la superfície i l'atmosfera. Per exemple una possibilitat en aquest sentit seria introduir algun tipus d'efecte de caire corrector que tingui compte precisament d'aquesta inhomogeneïtat i que la pugui contar, com una parametrització. Una altra possibilitat seria introduir un terme que donés compte del flux d'energia degut a la fotosíntesi dels vegetals. També es podrien afegir d'altres termes que tinguin en compte d'altres efectes a fi de millorar el balanç.

Agraïments

A la Dra. Maria Rosa Soler Duffour per l'atenció i el seguiment prestats en la realització d'aquest estudi.

Al Dr. Fred C. Bosveld del KNMI, per facilitar el conjunt de dades experimentals necessàries per la realització d'aquest treball.

9. Referències

- Brotzge J.A, Crawford K.C. (2003) Examination of the surface energy budget: a comparison of Eddy-Correlation and Bowen Ratio measurements systems. *J Hydrometeorology* 4:160-178
- Foken T., Wichura B. (1996). Tools for quality assessment of surface-based flux measurements *Agricultural and Forest Meteorology*, 78: 83-105
- Foken T., Mauder M., Liebethal C., Meijninger W.M.L., Bange J.(2006) Attempt to close the energy energy balance for the LITFASS-2003 Experiment, *27 th Conference on Agricultural and Forest Meteorology, American Meteorological Society, San Diego, paper 1.11.,2006.*
- Heusinkveld B.G., Jacobs A.F.G., Holtslag A.A.M., Berkowicz S.M.(2003). Surface energy balance closure in an arid region: role of soil heat flux. *Agricultural and Forest Meteorology*. 122 (2004) 21-37
- Jacobs A.F.G., Heusinkveld B.G., Holtsang A.A.M. (2007) Towards closing the surface energy budget of a Mid-latitude Grassland. *Bound.-layer Meteor*, 126: 125-136.
- Kanda M., Inagaki A., Letzel M.O., Raasch S., Watanabe T.(2003) Les study of the energy Imbalance problem with Eddy Covariance Fluxes. *Boundary-layer Meteorology* 110: 381- 404, 2004.
- Longhui Li, Qiang Yu (2007) Quantifying the effects of advection on canopy energy budgets and water use efficiency in an irrigated wheat field in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 89 (2007) 116 - 122
- Oncley S., Foken T., Vogt R., Bernhofer C., Kohsiek W., Liu H., Pitacco A., Grantz D., Ribeiro L. (2002) The Energy Balance experiment EBEX-2000. *25 th. Conference on Agricultural and Forest Meteorology, 20-24 May 2002 Norfolk, paper 1.1*
- Panin G., Tetzlaff G. (1998) A Measure of Inhomogeneity of the Land Surface and Parametrization of Turbulent Fluxes under Natural Conditions. *Theor. Appl. Climatol.* 62, 3-8 (1999)
- Zhang Yongqiang, Shen Yanjun, Yu Qiang ,Liu Changming, Kondoh A., Tang Changyuan, Sun Hongyong, Jia Jinsheng.(2002) Variation of fluxes of water vapor, sensible heat and carbon dioxide above winter wheat and maize canopies. *Journal of Geographical Sciences* 12, 3 (2002) 295-300.