

## **Raport stiintific**

*privind implementarea proiectului in perioada decembrie 2012 – decembrie 2013*

**Abordare interdisciplinara a modelarii dinamice a transferului tritiului in plante agricole PN-II-ID-PCE-2011-3-0396 / IDEI65/2011**

Proiectul de IDEI EXPLORATORII a fost propus ca avand un scop bine definit:

“The project proposes the development of an interdisciplinary, physical-mathematical, biochemical and physiological model of the dynamic interactions between tritium (as HTO) in atmosphere and soil (from where tritium once emitted, enters straight into the life cycle) and biosphere - crops (and animals), using the recent results from the life sciences, radioecology, and agricultural research, together with the associated data base and computer codes. The end-point of the model is the calculation of the ingestion dose (input for health effects). The intention is to keep an optimal ratio between the complexity of the modelled processes and the limits of the practical knowledge, considering the specific characteristics of the nuclear energy utilities in Romania. In order to decrease the uncertainty of model predictions, the proposed project will use the state of the art approach for the atmosphere-land interaction, soil-vegetation-air processes and hydrogen metabolism in crops. The old approaches were empirical in many aspects and the site specific parameters needed for models application were difficult to be known. The model uncertainty will be controlled by comparison with the experimental data without any calibration.”

Scopul final este elaborarea cadrului stiintific si al metodei pentru un model operational pentru evaluarea consecintelor unei emisii accidentale de tritiu, cu aplicatie pentru Romania (reactori CANDU cu tritiul ca radioizotop critic).

Reactorii cu apa grea, fabricile de reprocessare a combustibilului nuclear, fabricile de radiofarmaceutice si viitori reactori de fuziune produc o mare cantitate de tritiu si sunt amplasate aproape de surse de apa. Desi cu probabilitate scazuta, posibilitatea unei emisii accidentale masive de tritiu nu poate fi ignorata. Tritiul intra direct in ciclul vietii in multiple forme fizico-chimice. Tritiul emis si scapat din instalatiile nucleare este de regula, sub forma de apa tritiata (HTO), dar o parte din HTO este convertita in tritiu legat organic (OBT) prin intermediul proceselor metabolice din plante si animale. Daca tritiul este legat de carbon, legatura este stabila si OBT are un timp de rezidenta mai mare in organisme si de aceea, determina un timp de expunere mai mare, care trebuie luat in considerare in studiile de estimare radiologica. Aceasta forma a OBT este neschimbabila (NE-OBT) si majoritara (70-90 %).

In scopul radioprotectiei si securitatii nucleare, este important sa apreciem corect urmarile radiologice al unei emisii accidentale de tritiu, folosind modele robuste, cu incertitudine mica. AIEA a coordonat proiectul EMRAS (2003-30011). In prima faza, EMRAS I (2003-2007) Romania, prin IFIN-HH, a participat la grupul de lucru “Modelling of Tritium and Carbon-14 transfer to biota and man” (Modelarea transferului tritiului si  $^{14}\text{C}$  in flora, fauna si oameni), deoarece acesti radionuclizi sunt de importanta nationala pentru reactorii CANDU, care stau la baza energiei nucleare romane. In acest grup de lucru, una din activitati s-a concentrat pe modelarea unui accident ipotetic cu emisie de tritiu. Rezultatele diferitelor participanti au demonstrat un grad inacceptabil de incertitudine. Ca urmare, in programul EMRAS II (2009-2011) s-a decis formarea unui grup de lucru dedicat subiectului: WG 7 “Tritium accident”. Cu sprijin intern din IFIN-HH si prin accept international, **seful de grup a fost ales din IFIN-HH, directorul acestui proiect de IDEI EXPLORATOTI, ca recunoastere a profesionalismului si experientei internationale**

Un model operational se aplica in practica (*cercetare aplicativa*) si trebuie sa satisfaca unele cerinte, agreate international:

- **complexitate minimala**
- **timp de calcul limitat**
- **parametrii modelului sa fie clar definiti si sa nu ceara costuri excesive** pentru situatia locala
- **sa aiba asociata o marja de incertitudine minima si clar demonstrabila**

Complexitatea proceselor care participa la transferul apei tritiata din atmosfera-plante-sol si transformarea in tritiu legat organic este extrem de mare si neclara pe plan international. Ca urmare, cercetarea aplicativa se face dupa o CERCETARE FUNDAMENTALA, INTERDISCIPLINARA.

La nivel international, aceasta problema nu este rezolvata, dar directorul de proiect este apreciat ca lider in domeniu (conduce un grup international in domeniu la Agentia Internationala de Energie Atomica (AIEA) si a urmare are sarcina MORALA de a gasi o solutie practica, dar in primul rind pentru Romania. **Conform agrementelor intre Romania si AIEA, fiecare tara isi sustine financiar activitatea in cadrul proiectelor EMRAS si MODARIA (unde IFIN-HH activeaza). Implicit, acest contract de IDEI EXPLORATORII asigura finantarea partii romane la activitatea AIEA in domeniu.**

Conform politicii stintifice a AIEA, grupurile de lucru trebuie sa finalizeze activitatea prin **documente tehnice (TECDOC)**, care vin sa sprijine activitatea din domeniu a tarilor participante. Aceste documente nu sunt legislative, dar suplimentea ghidurile AIEA care se implementeaza in fiecare stat membru. Pentru grupul WG 7, la care IFIN-HH este responsabil, **redactarea documentatiei tehnice este incredintata IFIN-HH.**

Deoarece transferul tritiului in plante agricole este puternic influentat de parametrii meteorologici, proiectul trebuie sa sprijine si activitatea de METEOROLOGIE NUCLEARA, pentru achizitia bazei de date si intelegerea corelatiilor intre factorii meteorologici si transferul tritiului in plante.

In 2012 si 2013 am continuat activitatea de redactare si revizie a raportului tehnic al Grupului international WG 7 al AIEA. **In prezent acest document este in curs de publicare** si cuprinde 15 capitole in 250 de pagini. Contributiile IFIN-HH la documentul tehnic al AIEA sunt exhaustive, cu multe elemente de noutate. Din continutul acestui raport de observa contributia importanta a partii romane:

Tabla de materii TECDOC draft "Tritium Accident", elaborata sub conducerea IFIN-HH:

1. INTRODUCTION (P. Cortes, D. Galeriu, V. Berkovskyy)
2. KEY MECHANISMS FOR TRITIUM TRANSFER IN TERRESTRIAL ENVIRONMENT (P. Guetat)
3. INTERACTION MATRICES AND ASSOCIATED PROCESSES FOR TERRESTRIAL PATHWAYS OF TRITIUM TRANSFER (S. Le Dizes-Maurel)
4. TRITIUM ATMOSPHERIC WASHOUT (L. Patryl, D. Galeriu, A. Melintescu)
5. HT AND HTO DRY DEPOSITION AND REEMISSION (M. Ota, H. Nagai)
6. HTO UPTAKE IN PLANTS AND THE OBT FORMATION DURING THE DAY TIME (A. Melintescu, D. Galeriu)
7. OVERVIEW EXPERIMENTS ON TRITIUM TRANSFER FROM AIR TO PLANTS AND THE SUBSEQUENT CONVERSION TO OBT (D. Galeriu, A. Melintescu, S. Strack, S.B. Kim, M. Andoh-Atarashi)
8. REVIEW ON SOIL-PLANT TRITIUM TRANSFER (V. Korolevych)
9. TRITIUM TRANSFER IN WHEAT EXPERIMENTS AND MODELS TESTS (D. Galeriu, L. Patryl, M. Ota, S. Strack)
10. TRITIUM TRANSFER IN FARM ANIMALS (D. Galeriu, A. Melintescu)
11. BRIEFING OF COMPLEX MODEL (H. Nagai, M. Ota)
12. TRITIUM IN AQUATIC FOODCHAIN (A. Melintescu, F. Siclet, D. Galeriu).
13. QUALITY ASSURANCE OF DATA (S.B. Kim)
14. QUALITY ASSURANCE OF MODELS (J. Duran, D. Galeriu).
15. STATUS AND PERSPECTIVES OF ACCIDENTAL TRITIUM MODELLING (D. Galeriu)

In 2013 ne am propus urmatoarele activitati:

1. Asimilarea carbonului si dinamica in plante cerealiere, proces de baza (45%) pentru modelarea dinamicii OBT (analiza de proces si modelare)
2. Analiza proceselor ce intervin in transferul sol-planta a apei tritiate (optimizarea algoritmului pentru complexitate minima)
3. Rolul factorilor meteorologici in transferul dinamic al tritiului (dezvoltarea sistemului observational in acord cu cerintele meteorologiei nucleare)

Deoarece procesele de formare a OBT sunt complexe, este necesar sa le analizam in detaliu si folosim cunostinte interdisciplinare. In formele biochimice de OBT neschimbabil, tritiul este legat de carbon si ca urmare, procesele de formare ale OBT sunt influentate de procesele de formare ale carbonului organic in plante. Din acest motiv am inclus punctul 1 de mai sus. Radiocarbonul a fost intens folosit ca trasor radioactiv pentru procesele de crestere ale plantelor si de curand, izotopul <sup>13</sup>C este folosit si el in cercetari

privind schimbarile climatica. Date experimentale valoroase pentru carbon in orez au fost analizate, iar un model de crestere a plantei specific pentru orez (ORYZA2000) a fost considerat ca punct de plecare. In modelele de crestere a plantelor se considera un pas temporal de o zi si procesele de respiratie (crestere si intretinere) se trateaza simplificat. Cercetari recente (citate in lucrare noastra) au demonstrat ca respiratia de crestere este un proces rapid care consuma materia organica recent produsa, iar respiratia de mentinere este un proces de durata care consuma majoritar materie organica formata in timp (nu recent). Modelele de crestere a plantelor se concentreaza pe predictia productiei (kg/ha), dar pentru radioprotectie ne intereseaza concentratia de radioizotop la recolta (Bq/kg) si dinamica radioizotopului in cazul unor contaminari ale atmosferei acute, deci pasul temporal al modelarii este de ordinul orei sau mai mic. Din aceste motive, modelarea dinamicii carbonului in scopul radioprotectiei difera de cea din modelele de crestere a plantei. La punctul 1 am adus **contributii originale** prin elaborarea unui model dedicat transferului dinamic al  $^{14}\text{C}$  in orez si testarea modelului cu un ansamblu largit de date experimentale. Deoarece diferentele intre grau si orez sunt bine cunoscute, rezultatele cercetarii noastre sunt transportabile pentru dinamica tritiului legat organic in grau. Modelul avansat de noi, C-ORYZA, are un pas temporal fin, considera dinamica respiratiei de mentinere (compartiment separat in model) si trateaza separat, dar coerent dinamica carbonului natural si a radio carbonului prin ecuatii specifice (explicate in lucrarea publicata). Modelul conceptual in C-ORYZA este dat in Figura 8, in care se distinge compartimentul pentru respiratia de mentinere (maintenance respiration) si cel pentru rezerve (reserve substrate). Rezervele se acumuleaza inainte de inflorire si sunt apoi redistribuite pentru cresterea bobului. Respiratia de mentinere are un timp de injumatatire (pierdere) de  $0.2 \text{ d}^{-1}$ . Asimilarea radiocarbonului din atmosfera se face in procesul de fotosinteza, care in modelul nostru are un pas temporal de o ora dar foloseste modelul de fotosinteza din ORYZA 2000.

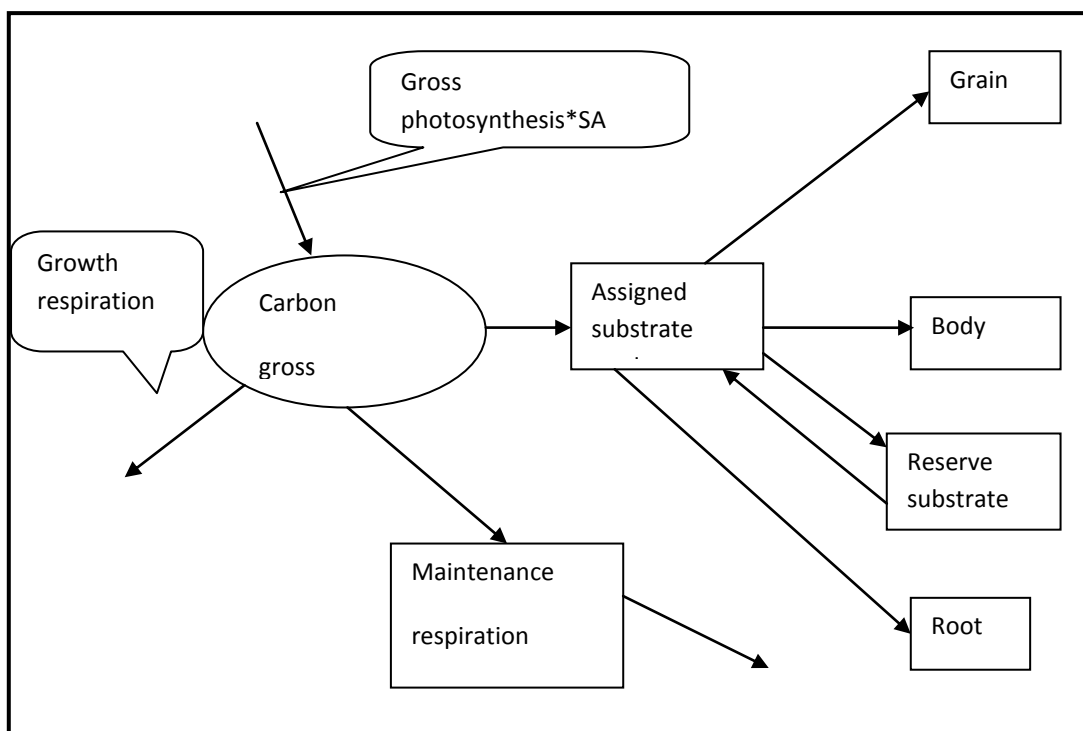


Figura 8. Modelul conceptual C-ORYZA (original)

In practica agricola, fertilizarea cu azot este esentiala, iar procesele chimice si biochimice ale transformarii azotului in copusi solubili din sol si transferul in plante sunt complexe si ORYZA2000 are modele dedicate. In modelarea de radioprotectie intereseaza in principu numai influenta azotului din frunze, esentiala pentru fotosinteza. In cadrul cercetarii pe care o raportam, am gasit o metoda semi-empirica pentru a descrie dinamica azotului din frunze, de-a lungul duratei cresterii plantei, fara sa mai folosim modelele detaliate. Metoda se bazeaza pe cunoasterea perioadelor de fertilizare si a cantitatilor folosite, tipul de sol si

statistica experimentală a azotului în frunze. Măsurarea azotului în frunze este o practică în cercetarea agricolă și are costuri reduse. Ca urmare, C-ORYZA nu mai necesită modelarea amănunțită a proceselor (azot în sol etc) astfel timpul de calcul este semnificativ redus. Compararea predicțiilor modelului cu rezultatele experimentale, cât și cu modelul complex ORYZA2000 atestă că metoda noastră este corectă (Figura 9).

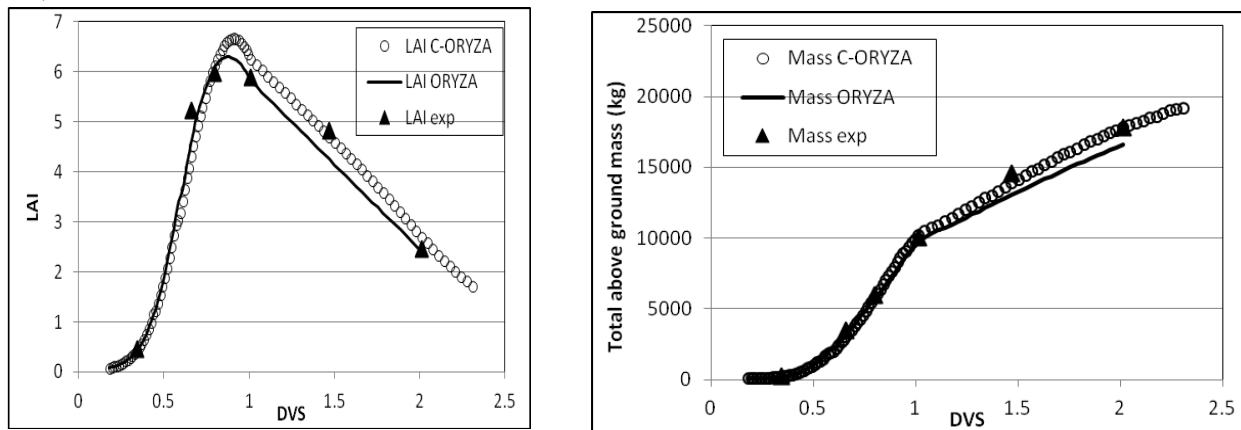


Figura 9. Comparatie între C-ORYZA, ORYZA2000 și datele experimentale pentru indicii de acoperire foliar (stanga) și biomasa aeriană (dreapta)

Pentru radioprotecție ne interesează concentrația radioizotopului în bob și nu masă. Definim raportul activității specifice (SAR) în legătură cu concentrația specifică în bob (Bq/kg) și cea din aer a radioizotopului, din timpul contaminării per kg Carbon în aer (Bq/kgC). Am studiat evoluția acestui SAR pentru producție maximă, potențială, dar și în cazul în care există stres de azot sau apă. Dacă stresul de azot sau apă duce la o micșorare puternică a producției (factor 2-3), concentrația de radioizotop este mai puțin redusă (30-40 %) așa cum se observă din Figura 10.

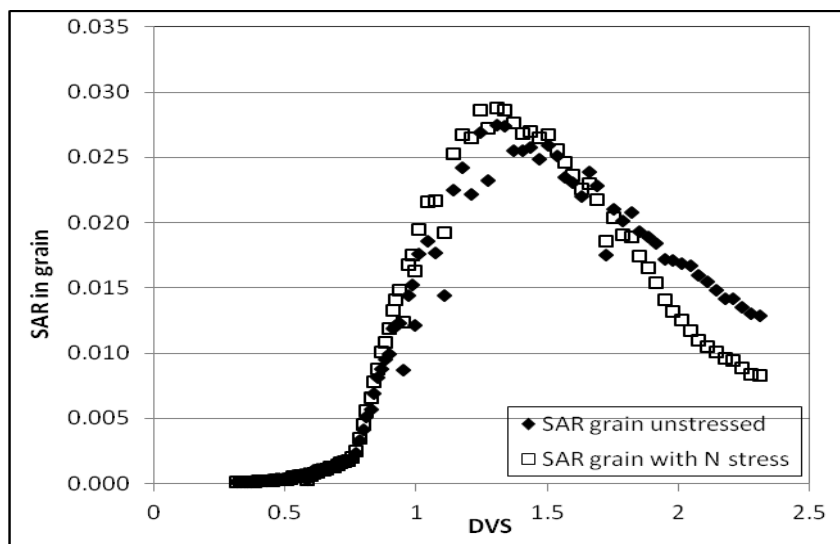


Figura 10. Evoluția SAR de-a lungul perioadei de creștere, în cazul producție potențială sau cu stres de azot (DVS=0 la răsărire, 1 la înflorire și 2 la maturitate)

Utilitatea și robustețea unui model se demonstrează prin comparație cu date experimentale. Literatura de specialitate consideră raportul activității în părți ale plantei față de activitatea inițial reținută de plantă la sfârșitul expunerii (de durată între 0.45 și 8 ore). Acest raport îl denumim REL și comparația este dată în Tabelul 2.

Modelul reproduce foarte bine experimentele pana in perioada de lapte a bobului, dupa care predictia pentru bob continua sa fie buna, dar cea pentru frunze+tulpina este subapreciata. Consultarea literaturii recente explica acest fapt prin complexitatea procesului de respiratie de mentinere, unde un rol important il are reciclarea proteinelor care mentin contaminarea in frunze si tulpina si dupa incetarea cresterii acerstora.

Aspectele importante decelate de noi se refera la:

- a) importanta rezervelor de fotoasimilat in tulpina;
- b) necesitatea de a considera evolutia continutului de azot in frunze ca functie de managementul fertilizarii si gradul de dezvoltare a plantei;
- c) complexitatea proceselor respiratiei de mentinere in evolutia plantei si importanta reciclarii proteinelor.

**Tablelul 2.** Comparare intre obsrvatiile experimentale si prezicerile modelului C-ORYZA pentru bob (grain) si frunze+tulpina (body)

DVS	REL grain (exp.)	REL body (exp.)	Model grain <sup>a</sup>	Model body <sup>a</sup>
0.58	0.02	0.5	0.02-0.03	0.45-0.65
0.75	0.06	0.48	0.05-0.06	0.45-0.65
0.79	0.07	0.4	0.05-0.08	0.45-0.66
0.84	0.18	0.6	0.15-0.2	0.03-0.45
0.95	0.3	0.5	0.25-0.4	0.2 - 0.4
1	0.19	0.57	0.28-0.45	0.2 - 0.35
1	0.33	0.3	0.28-0.45	0.2 - 0.35
1.22	0.65	0.15	0.67-0.8	0.04-0.07 (0.08) <sup>b</sup>
1.26	0.66	0.03	0.67-0.8	0.02-0.04 (0.06) <sup>b</sup>
1.44	0.8	0.09	0.7-0.82	0.02-0.04 (0.045) <sup>b</sup>
1.53	0.67	0.07	0.72-0.83	0.01-0.02 (0.035) <sup>b</sup>
1.53	0.81	0.04	0.72-0.83	0.01-0.02 (0.035) <sup>b</sup>
1.56	0.7	0.2	0.72-0.83	0.01-0.02 ( 0.03) <sup>b</sup>

<sup>a</sup> range of the predicted values

<sup>b</sup> the maximum predicted values for the Wuxiangjing9 genotype

Articolul a fost trimis spre publicare si acceptat dupa o revizie care aduce mai multa claritate pentru cititor. Rezultatele cercetarii sunt esentiale pentru modelarea OBt in plante si constitue un pas important pentru reducerea incertitudinii. Ele au fost valorificate partial deja (vezi mai jos). Modelul C-ORYZA a fost aplicat pentru emisiile de rutina de <sup>14</sup>C la Cernavoda , demonstrand utilitatea practica.

La punctul 2 din planul initial de lucru pe 2013, metoda de modelare a apei in sol pe care am aplicat-o s-a dovedit necorespunzatoare in cazul unei precipitatii intense. Anterior metoda a functionat in cazul unei contaminari a apei freatiche (*Upward movement of tritium from contaminated groundwaters: a numerical analysis* Y. Belot, , B.M. Watkins, O. Edlund, D. Galeriu, G. Guinois, A.V. Golubev, C. Meurville, W.

Raskob, M. Taeschner and H. Yamazawa Journal of Environmental Radioactivity Volume 84, Issue 2 , Pages 259-270). Cauza este marea neliniaritate a unor marimi la suprafata solului. Pentru minimizarea erorilor este necesar un pas foarte fin in discretizarea spatiala si temporala, dar aceasta duce la marirea inacceptabila a timpului de calcul (pentru un model operational). In Japonia (JAEA) a fost dezvoltat un model SOLVEG, care a fost aplicat pentru tritiu. Autorii au comunicat ca modelul este in revizie pentru a raspunde si cazului contaminarii atmosferice. Pe plan international, s-au dezvoltat metode avansate de calcul. O recenta teza de doctorat specifica dificultatile si modul de rezolvare (Modelling water and solute transport within vegetated soils using a stochastic framework - Bethanna Marie Jackson 2013, Imperial College, London). Am incercat sa ne documentam si sa obtinem detalii dar, *in lipsa unui buget corespunzator*, ele nu au putut fi accesate, nefiind gratis.

Am apelat la grupurile de cercetatori internationale din domenii conexe pentru a gasi alternative. Din Australia (CSIRO: P J Ross, J. Haverd) am primit detalii despre metoda rapida si aplicarea ei in cazul izotopilor de hidrogen. Intelegera si adaptarea metodei pentru necesitatile noastre cere un volum de munca de care nu am dispus in acest an. Am decis sa nu trimitem spre publicare nici un articol, inainte de a obtine rezultate robuste in cadrul proiectului. Activitatea de modelare operationala a transferului apei tritiate din sol in plante continua si mai necesita 3-4 luni pana la solutia robusta si operationala.

La punctul 3 din planul de lucru pe 2013, am continuat eforturile de operare a turnului meteo IFIN-HH (<http://meteo.nipne.ro>) si am montat un lant nou de masura in acord cu cerintele actuale din tari dezvoltate (<http://meteo.nipne.ro/~news>). Am alcatuit un manual intern anexat functionarii turnului in regim de securitate nucleara si achizitiei de date pentru proiect. Turnul meteo al IFIN-HH este positionat in zona periurbana si teritoriul din jur este cu obstacole distribuite neuniform. In aceste conditii nu se pot aplica metodele clasice pentru estimarea claselor de stabilitate atmosferica care determina dispesia poluantilor. De a lungul anilor 2011-2013 am dezvoltat baza informatională (achizitia datelor meteorologice- prelucrarea si stocarea) si am efectuat cercetari pentru a dezvolta a procedura de estimare a stabilitatii atmosferice in teren neuniform. Dispunem de doua lanturi de masura- unul pe baza sensorilor clasici, de calitate moderata, suplimentat cu senzori speciali , si unul bazat pe senzori si componente IT de calitate si fiabilitate sporita, aflat in teste in momentul de fata(Figurile 11 si 12).

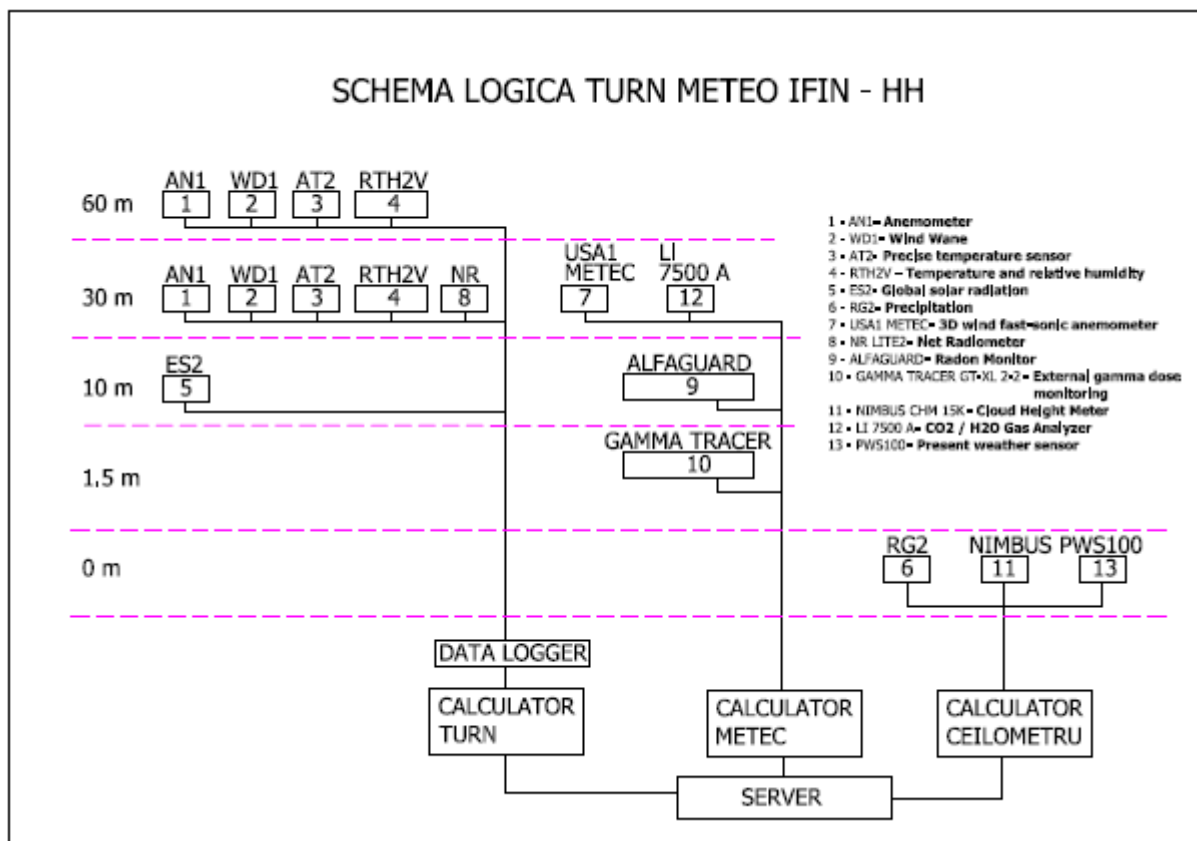
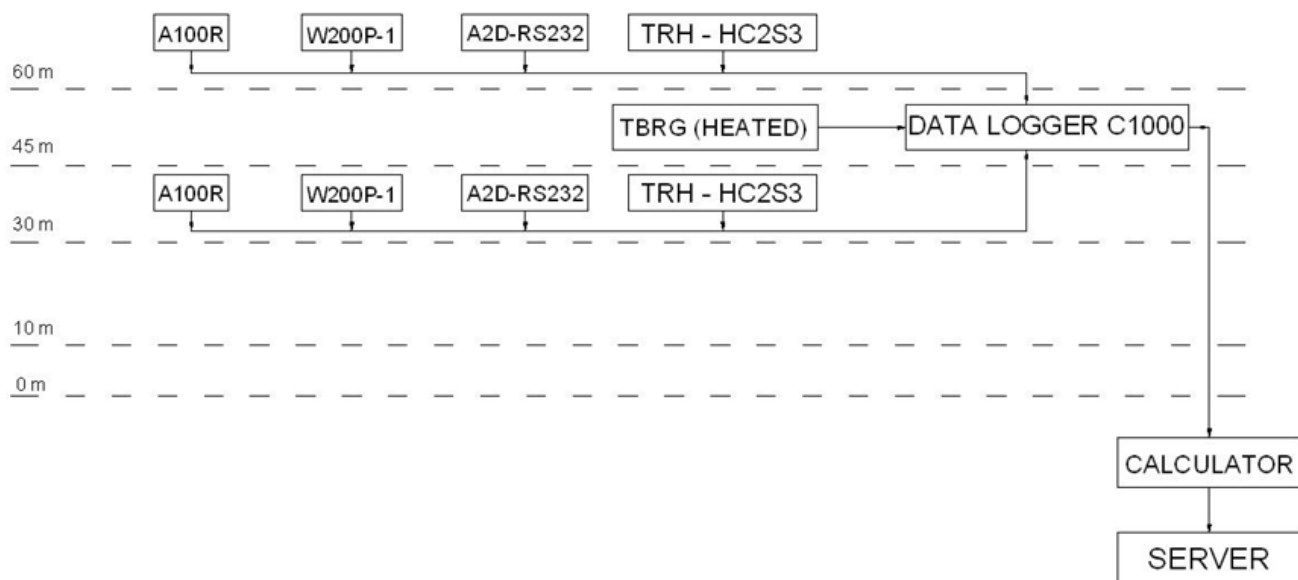


Figura 11 Schema logica turn meteo-linie de masura in functie

Am analizat datele meteorologice privind gradientul de temperatura, radiatia neta, deviatia standard a directie vintului, viteza vintului la 30 si 60 m inaltime si corelatiile intre aceste marimi (vezi figura 13) si am estimat fluxul de caldura sensibila la suprafata solului si inaltimea soarelui. Pe baza acestor corelatii si observati am dezvoltat o procedura specifica si am prelucrat ansamblul datelor achizitionate pentru a construi baza de date meteorologice si radiologice a IFIN-HH. In perioada 2011-2013 datele achizitionate acopera 97 % din perioada de timp si analiza statistica da distributia claselor de stabilitate pe cele 16 sectoare ale directie vintului (figura 14). Sistemul functioneaza automat si transmite date actualizate din 10 in 10 minute sistemului local de urgenta .

**SCHEMA LOGICA TURN METEO – LANT DE MASURA NOU**



- A 100 R** - Switching anemometer
- W200P-1** - Potentiometer windvane
- A2D-RS232** - Windsonic 2D ultrasonic anemometer
- TRH – HC2S3** - Temperature and RH sensor (ROTRONIC)
- TBRG(HEATED)** - Tipping bucket rain gauges (RM YOUNG)
- C 1000** - DATA LOGGER

Figura 12 Schema logica Turn meteo linie de masura noua, in teste.

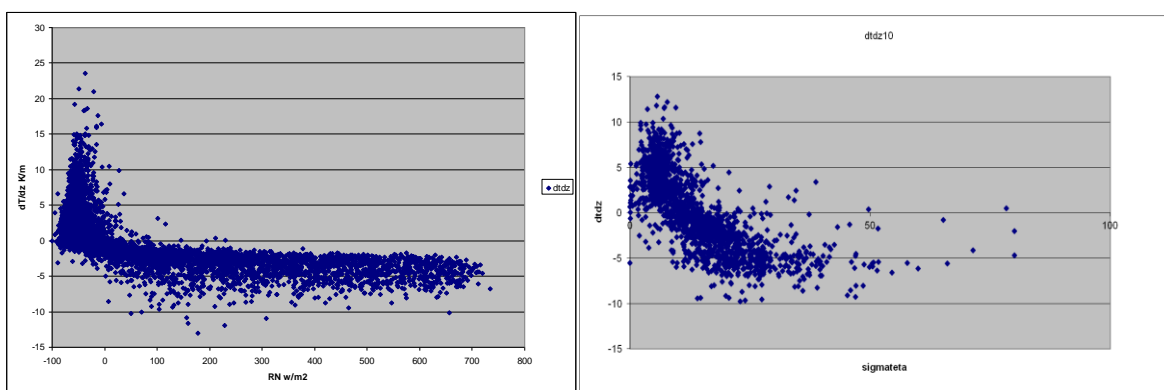


Figura 13 Corelatia intre gradientul termic si radiatia neta (stinga) sau deviatia standard a directie vintului (dreapta)

Daca comparam performantele sistemului cu cerintele actuale ale meteorologiei nucleare se observa ca nu am atins calitatea necesara si este nevoie de masurari directe ale turbulentei atmosferei locale in zona IFIN cu teren complex. Acestea se bazeaza pe folosirea unor senzori rapizi –anemometru sonic 3D si analizor de gaz in infrarosu). Analiza datelor dela anemometrul sonic 3D a relevat necesitatea unei monturi speciale ale

senzorului care sa ii asigure verticalitatea. S-au facut demersuri pentru rezolvarea practica dar se asteapta finantarea.

Pentru supravegherea radiologica am analizat datele dela dozimetru exterior in corelatie cu precipitatie si nivelul radonului in atmosfera. Am pus in evidenta influenta precipitatie asupra dozei gama externe si astfel putem decela intre factori naturali si antropici care determina variatia dozei externe. Metoda poate fi generalizata si aplicata in sistemul national de supraveghere radioactiva.

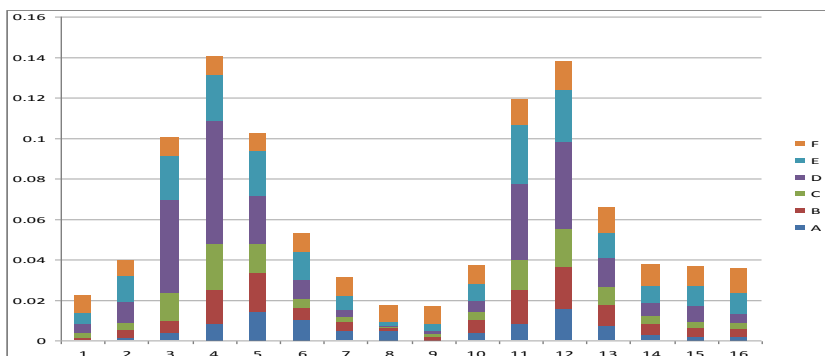


Figura 14 Statistica claselor de stabilitate la IFIN. Clasa A e instabila, D e neutra si F e stabila. Sectorul 1 este la Nord

In cursul anului 2013 s-a reusit si implementarea bazei de date meteorologice pentru aplicarea in modelarea dinamica a transferului tritiului- aer-plante.

**Diminuarea bugetului** afecteaza direct mentinerea in functie si dezvoltarea instrumentationala. Am abandonat monitorirea radonului (lipsa componente de schimb) si vom inceta iarna sa masuram gradul de acoperire a cerului (ceilometru) pentru a nu expune instalatia la solicitari ambientale, deoarece nu avem fonduri sa o inlocuim. Am renuntat la calibrarea, testarea si instalarea unor componente achizitionate si dedicate masuratorilor de precizie a caracteristicilor precipitatiilor si a fluxurilor de moment cinetic, caldura sensibila si latentă in atmosfera joasa, ca si a fluxului si concentratiei de apa si CO<sub>2</sub>. Aceste activitati se pot relau de indata ce avem asigurare financiara.

Un articol despre Nuclear Meteorology at IFIN-HH este trimis spre publicare .

Cea mai dificila si importanta tema de cercetare este formarea tritiului legat organic in plante. In formularea propunerii de proiect am evitat sa ne angajam, constienti ca nu exista o solutie (2011). In intercompararea de modele (AIEA 2005-2007), pentru o emisie de 10 g de tritiu, modelele au prezis cea mai mare doza penru public in cazul unei emisii in timpul noptii. In cazul unei emisii cu precipitatii, doza maxima prezisa era de 10 ori mai mica. **Rezulta ca formarea tritiului organic in timpul noptii este de importanta cruciala. Am depus un efort deosebit de cunoastere in domenii in care nu aveam cunostiinte anterioare.** Am avut sprijinul comunitatii stiintifice internationale la acesul documentatiei. Tematica este inclusa in programul de lucru al AIEA. Pentru Romania, cu reactori CANDU, tematica este prioritara.

Incepand cu trimmestrul 2 al anului 2013, ne-am ocupat intens de acest proces. Cateva aspecte sunt esentiale:

- Rolul amidonului (starch) in metabolismul plantei;
- Contributia proceselor nocturne in metabolismul plantei pentru mentinerea si cresterea a partilor plantei;
- Reactiile biochimice nocturne care produc OBT si cum depind ele de tipul plantei, genotip si conditii ambientale.

In fotosinteza, in timpul zilei, se produc carbohidrati solubili si insolubili. Cei solubili (glucoza, sucroza, fructoza) se folosesc imediat in metabolismul plantei pentru producera substantelor organice mai complexe, in intretinerea respiratiei. Cei insolubili, in principal amidon (starch) sunt stocati in frunza si la lasarea serii sunt hidrolizati in compusi solubili care vor intretine metabolismul in timpul noptii. Reactiile de hidroliza sunt cu aditia apei. Amidonul este un compus polimerizat avand ca baza molecula de glucoza. Pentru fiecare



bloc de glucoza produs prin hidroliza sunt necesare 1-1.5 molecule de apa. In fotosinteza la fiecare molecula de glucoza sunt necesare 6 molecule de apa.

Fractia de amidon produsa ziua depinde de tipul plantei. O extensiva consultare a literaturii ne da un tabel exemplificativ (Tabel 3).

In afara producerii carbohidratilor solubili in timpul noptii, intereseaza si alte reactii biochimice din frunza. Analiza compozitiei din phloem (exportul din frunza catre alte parti ale plantei) atesta prezenta majoritara a sucrozei si altor carbohidrati solubili, dar si cantitati semnificative de aminoacizi. In reactiile de producere a acestora exista si aditia apei, dar intr-o masura mai mica decat la hidroliza amidonului.

Studiile privind dinamica  $^{14}\text{C}$  in orez, cat si alte informatii de specialitate atesta importanta proceselor de reciclare a proteinelor, parte respiratiei de mentinere in frunze (si alte organe). Ca urmare, acest proces trebuie inclus pentru completitudine si pentru predictia de durata a concentratiei de OBt (vezi discutia la C-ORYZA).

**Tabel 3.** Fractia aproximativa de amidon produs ziua

Oat	0.07-0.1	bean	0.43
barley	0.13-0.2	spinach	0.45
wheat	0.13-0.2	cucumber	0.6
Pea	0.13-0.28	sugar beat	0.4
maize	0.2-0.5	pepper	0.5
sorghum	0.25	celery	0.5
sunflower	0.3	soybean	0.3-0.6!

Dupa mai multe incercari, am ajuns la un model conceptual (Figura 15) pe care l-am dezvoltat in cadrul unei platforme de modelare simpla (ModelMaker) dar prietenoasa. Executiile pe grau, dupa inflorire, au dat rezultate calitativ corecte. Modelul conceptual il vom comunica international, anul acesta pentru asigurarea prioritatii intelectuale. Dar modelul operational mai necesita unele cercetari, deoarece unele sub-procese sunt mai complexe si nu exista solutii unice in literatura.

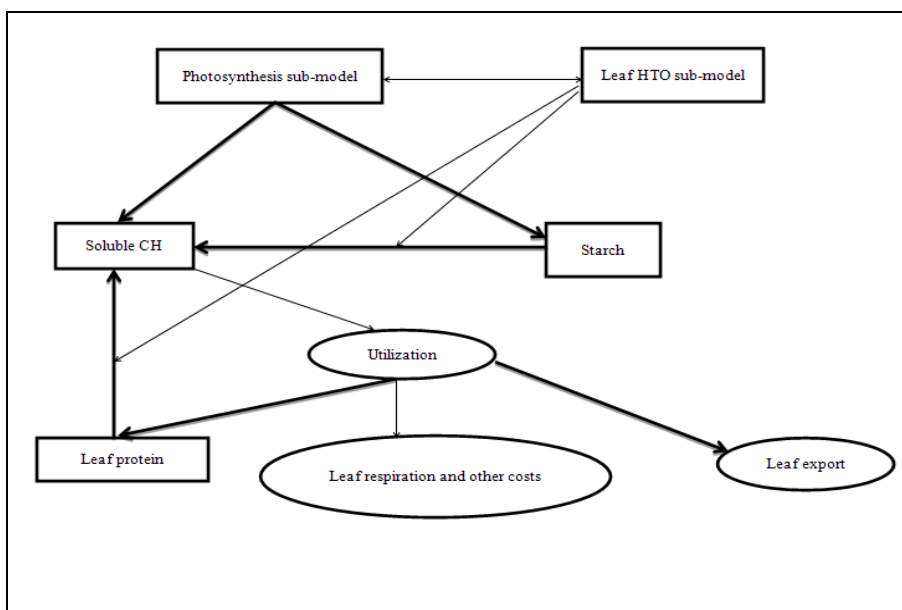


Figura 15. Modelul conceptual pentru formarea OBt (zi sau noapte)

Modelul primește ca date de intrare temperatura și producția de fotosintat în timpul zilei, pe perioada pasului temporal. Tot ca date de intrare, se comunică concentrația medie de apă tritiată (HTO) în frunza. Fotosintatul se acumulează în amidon cu o fracție specifică plantei. Noaptea are loc hidroliza și metabolismul plantei se continuă. Dacă în timpul zilei avem contaminare în apă din frunze, formarea OBT se face direct prin adăugarea apei tritiată în fotosinteză. Dacă numai noaptea avem HTO în frunze, OBT se produce prin adăugarea HTO în hidroliza și reacțiile subsecvente. Se consideră și ciclarea proteinelor din frunza. Respirația frunzei și alte procese respiratorii sunt extrase din cantitatea produsă și se obține exportul de OBT din frunza pentru creștere.

Parametri modelului sunt:

as	fracția din asimilat (fotosinteză) care este distribuită pentru stocarea amidonului
K <sub>lp</sub>	rata de reciclare (turnover) a proteinelor din frunza h <sup>-1</sup>
K <sub>lc</sub>	rata de utilizare a carbohidraților solubili h <sup>-1</sup>
α <sub>phap</sub>	fracția alocată sintezei proteinelor din frunza
Y <sub>p</sub>	eficiența sintezei proteinelor
turns	rata de hidroliza a amidonului (0 în timpul zilei)
massleaves	masa frunzelor kg/m <sup>2</sup>
steammass	masa tulpini kg/m <sup>2</sup>
rootmass	masa rădăcinii kg/m <sup>2</sup>
optional	masa boabelor la recoltare

Rata de formare a OBT pe durata DT se deduce din rata de fotosinteză sau de hidroliza a amidonului, ținând seama de procesele concurente.

În timpul zilei, rata de producție a OBT este determinată de rata de fotosinteză, coeficientul stoichiometric pentru trecerea la rata de adăugare a apei (30/44), coeficientul de fracționare izotopică și coeficientul de partiție în forma neschimabilă. Tritiul este mai greu decât hidrogenul și reacțiile biochimice sunt mai lente. Ca urmare rata de producere a OBT este mai mică decât pentru hidrogenul organic. Factorul de fracționare depinde de formula chimică și se poate clasifica după macro-tipuri de biomoleculă. El variază, dar în cazul grăului este predominant dat de formarea sucrozei și aminoacizilor. O valoare generică este 0.85. În reacția de sinteză se formează OBT schimbabil și neschimabil. Numai cel neschimabil interesează, deoarece forma schimbabilă are comportamentul apei tritiată (ciclul apei în plantă). Fracția neschimabilă depinde de compoziție și e mare la lipide și mai mică la carbohidrați. Pentru frunzele de grâu, se reține valoarea 0.7. Pe timpul nopții aceiași factori multiplică rata de hidroliza a amidonului.

În acest raport nu dau detalii, deoarece este o premieră internațională și nu e definitivată încă (PROTECȚIE INTELECTUALĂ).

Spre exemplificare dau în Figura 12 dinamica în frunze pentru o expunere de o oră pe timp de zi (11-12, OBT-g) și noaptea (23-24, OBT-G1) cu date de intrare realiste (corespunzător unor condiții experimentale descrise în secțiunea următoare) și parametri neoptimizați. Valorile se apropie de cele experimentale (1100 ziua și 166 noaptea) dar rezultatele sunt provizorii. Pentru aceleași 2 cazuri, modelul prezice 180 Bq/g pentru bobul de grâu la recoltare, iar experimental se observă 130 Bq/g. Remarcăm că introducerea reciclării proteinelor este un succes, deoarece la recoltă, frunzele mai au încă OBT, chiar și în cazul când expunerea se face mai târziu. Modelul prezice 8-10 Bq/g la recoltare, iar datele experimentale sunt ~ 8 Bq/g noaptea și 20-30 Bq/g ziua.

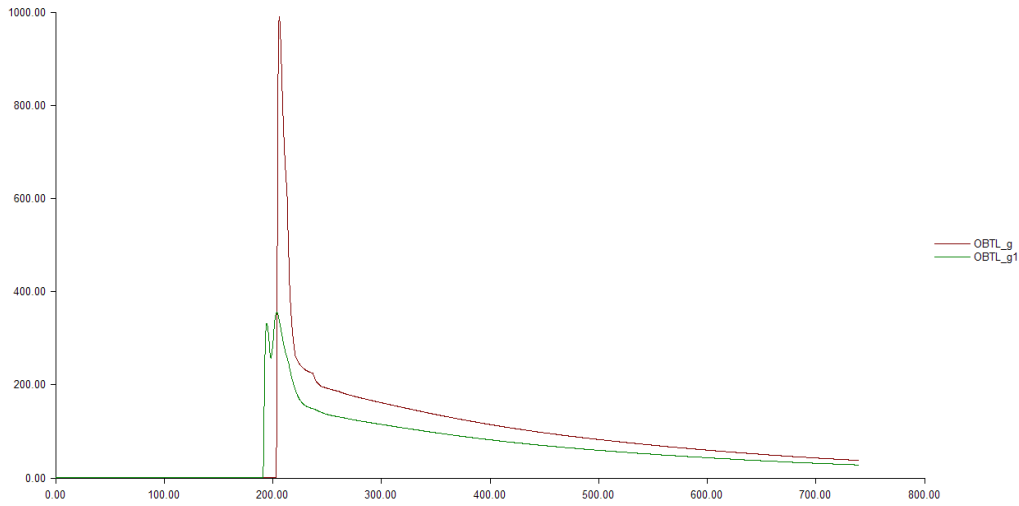


Figura 12. Predictiile modelului nou pentru dinamica OBT in frunze, expunere diurna sau nocturna.

Rezultatele prezentate mai sus sunt primele, obtinute recent si demonstreaza ca modelul propus de noi este credibil. Finalizarea si publicarea se face in 2014, impreuna cu introducerea acestui model in Modelul general CROPTRIT.

Modelul de formare a OBT primeste informatii de la submodelul de fotosinteza si de la cel pentru apa tritiata din frunze. Incepem cu cel din urma si dam esenta. Detaliile sunt publicate in mare masura (Raportul AIEA si :*Exchange velocity approach and the role of photosynthesis for tritium transfer from atmosphere to plants* A. Melintescu, D. Galeriu Fusion Science and Technology (2011) 60 (3), 1179 – 1182).

Ecuatiile dinamice penru HTO in frunze sunt:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{V_{exc}}{M_w} (C_{air} - 0.91\rho_s C) + \frac{V_{exc}}{M_w} (\rho_s - \rho) C_s$$

unde

$$V_{ex} = \frac{1}{R_a + R_b + R_c}$$

Aici avem concentratia de HTO in frunze  $C$ , in aer  $C_{air}$ , masa apei din frunze  $M_w$ , densitatea vaporilor de apa saturati in frunze  $\rho_s$  si din aer  $\rho$ , cit si viteza de schimb  $V_{exc}$ . Viteza de schimb este determinata de rezistenta turbulenta a aerului,  $R_a$  rezistenta stratului laminar  $R_b$  si rezistenta coroanei frunzoase  $R_c$ . Aceasta din urma este inversul conductantei stomatale  $g_{l,c}$ :

$$g_{l,c} = g_{min,c} + \frac{a_1 A_g}{(C_s - \Gamma) \left( 1 + \frac{D_s}{D_*} \right)}$$

Aici am adoptat un formalism din literatura (Ronda) in care se evidentiaza rata de fotosinteza  $A_g$ , conductata minima in timpul noptii  $G_{min}$  si deficitul de umiditate atmosferica,  $D_s$ .  $C_s$  este concentratia de  $CO_2$  la suprafata frunzei, considerat in legatura cu cea din interior  $C_i$ , prin relatia semi-empirica:

$$\frac{C_i - \Gamma}{C_s - \Gamma} = f_0 - a_d D_s,$$

Relatiile de mai sus se bazeaza pe faptul ca transfrul apei din atmosfera in frunze are acelasi traiect cu cel al  $CO_2$  (vezi Figura 13).

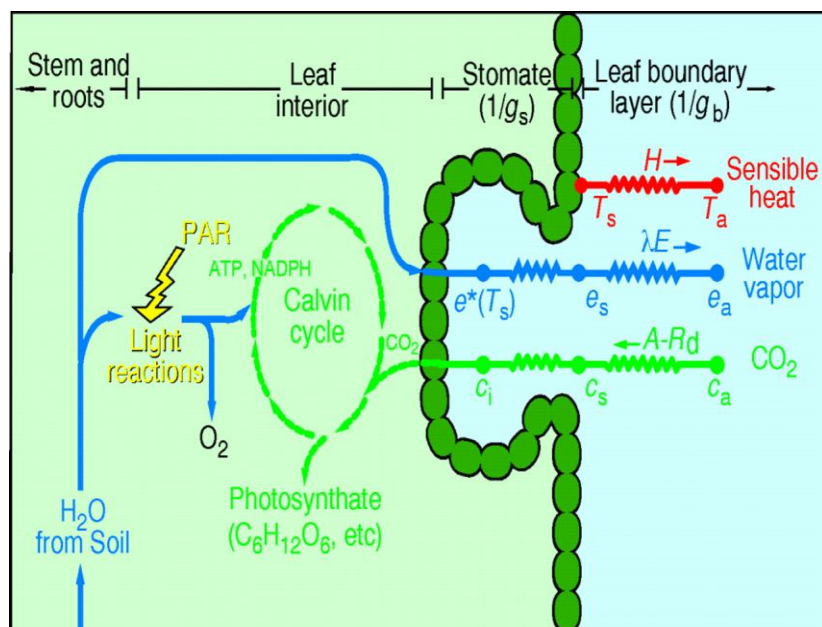


Figura 13. Schema generala a fotosintezei

În modelul pe care îl dezvoltăm, CROPTRIT, fotosinteza este modelată simplu, conform unor modele acceptate (WOFOST, ORYZA) fără detalieri asupra proceselor enzimatice biochimice. Această alegere vine din necesitățile unui model operațional și trebuie verificat în ce măsură este posibilă. Am avut acces la un set de date experimentale din Germania, unde s-a considerat o oră de expunere asupra graului de toamnă, de-a lungul zilei. Au fost 14 experimente și se cunosc bine condițiile experimentale. Datele le-am obținut prin colaborare internațională în cadrul AIEA, pentru dezvoltare și testare de modele. Ele sunt numai parțial publicate, dar noi dispunem de cele complete.

Modelul, așa cum a fost la începutul contractului a fost întâi verificat pentru rezistența coroanei frunzoase. El a fost dezvoltat considerând analiza proceselor făcută în 2012. Pentru a începe procedura de testare am ales un caz mai simplu. Am avut acces prioritar la un set de date experimentale pentru graul de toamnă, efectuate în Germania și numai parțial publicate. Experimentele s-au făcut într-o încălțură cu control asupra factorilor meteorologici și a concentrației de  $CO_2$ , iar aerul a fost ventilat forțat. Solul a fost acoperit și plantele nu au avut stres de apă. În aceste condiții, modelul poate fi testat pentru unele procese, parametrii pot fi investigați fără perturbare cu alte procese. În versiunea inițială, formarea OBT în noaptea a fost calibrată după date preliminare și cu fotosinteza simplă din WOFOST. În versiunea îmbunătățită, formalismul a fost corectat și s-a folosit și modelul de fotosinteza din C-ORYZA (profilul vertical al azotului în frunze). Predicțiile modelului au fost comparate cu datele experimentale și sunt prezentate în Tabelul 4. Deoarece cazul este aproape ideal, modelul trebuie să se încadreze, dacă e robust, într-un interval de incertitudine de un factor 2. Din Tabelul 4, se observă că dimineața (ora 7), seara (ora 20), la ora 15 și noaptea, modelul nu corespunde cerințelor de robustețe. Am analizat întâi cazul de la ora 15. Aici, temperatura în încălțură experimentală ajunge la  $38\text{ }^\circ\text{C}$  în cursul unei ore. Modelul de fotosinteza WOFOST a fost produs în anul 1986 și consideră influența DIURNĂ a temperaturii în fotosinteza, într-o manieră simplistă. Consultarea literaturii atestă că această alegere nu este corectă pentru influența temperaturii. Modelele mai avansate de fotosinteza demonstrează importanța adaptării la temperatura ambientală și datele experimentale o confirmă. Am accesat un model complex și modern pentru fotosinteza - GECROS (Yin, X., van Laar, H., 2005. Crop Systems Dynamics – An Ecophysiological Simulation Model for Genotype-by-Environment Interactions. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands). Submodelul de fotosinteza a fost asimilat și folosit pentru graul de toamnă (parametrii stabiliți experimental). Dependenta de temperatura a fotosintezei a fost extrasă și folosită în CROPTRIT. Rezultatele pentru experimentul 9 din Tabelul 4 au fost clar mai robuste.

Pentru experimentele de dimineață și seară (1,2 și 11,12 din tabel) am analizat oportunitatea modelului RONDA și, consultând literatura, el nu este valid dacă rata de fotosinteza se apropie de rata de respirație a frunzei. Ca urmare avem de găsit un formalism mai performant.

Predictiile mai putin reusite din timpul noptii se explica prin ignorarea proceselor specifice si folosirea unor calibrari preliminare in modelul initial CROPTRIT. De indata ce folosim noul model de formare a OBT in noapte performantele modelului sunt acceptabile.

Cele expuse mai sus sunt rezultatele recente ale cercetari exploratorii si atesta capacitatea noastra de a gasii solutii robuste pentru un model operational. Pentru gasirea unor solutii acceptabile in cazul expunerii dimineata sau seara , cind procesle de fotodsinteza-respiratie isi schimba regimul dela zi la noapte am cerut si primit ajutorul comunitatii internationale. Sunt certe sanse sa gasim o solutie robusta pentru un model operational. Pentru productia OBT in timpul noptii, mai sunt etape de parcurs in special pentru tranzitia de la respiratia de zii la cea de noapte si detalierea respiratiei de intretinere.

Tabel 4 comparatie intre predictia modelului CROPTRIT si observatiile experimentale – Germania (extras din prezentarea oral TRITIUM 2013)

**Tabelul 4.** Comparatie intre rezultatele modelului CROPTRIT si observatii

Exp.	Time of exp.	Start hour	DVS <sup>a</sup>	CROPTRIT - version 1 <sup>b</sup>		CROPTRIT – version 2 <sup>c</sup>		CROPTRIT – version 3 <sup>d</sup>	
				P/O <sup>e</sup> HTO	P/O <sup>e</sup> OBT	P/O <sup>e</sup> HTO	P/O <sup>e</sup> OBT	P/O <sup>e</sup> HTO	P/O <sup>e</sup> OBT
1	22/6/1995	7	1.38	1.37	0.74	1.35	<b>0.45</b>	1.35	0.45
2	27/6/1996	7	1.47	1.49	0.55	0.78	<b>0.24</b>	0.78	<b>0.24</b>
3	28/6/1995	8	1.51	0.93	1.27	1.08	0.87	1.08	0.88
4	21/6/1995	9	1.36	0.69	0.93	0.93	0.75	0.91	0.78
5	22/6/1995	10	1.38	0.55	1.74	0.86	1.37	0.81	1.54
6	19/6/1996	11	1.3	1.05	1.54	0.92	1.09	0.93	1.14
7	3/7/1996	11	1.6	0.69	0.56	0.83	0.38	0.83	0.60
8	19/6/1995	14	1.32	0.50	0.73	0.72	0.59	0.69	0.81
9	17/6/1996	15	1.25	0.93	<b>0.18</b>	0.72	<b>0.08</b>	0.88	0.44
10	26/6/1996	15	1.45	0.81	0.98	1.08	0.76	1.05	0.90
11	25/6/1995	20	1.47	3.20	0.41	1.90	<b>0.19</b>	1.90	<b>0.19</b>
12	25/6/1996	20	1.43	3.30	0.69	1.68	<b>0.30</b>	1.68	<b>0.30</b>
13	26/6/1995	23	1.47	1.59	<b>0.38</b>	1.59	<b>0.38</b>	1.59	0.61
14	25/6/1996	23	1.43	0.85	<b>0.30</b>	0.85	<b>0.30</b>	0.85	0.52

Din trei in trei ani se organizeaza un congres dedicat tritiului si am participat la ultimele 3 (Germania 2004-poster; USA 2007 lectie invitata si poster; Japonia 2010 lectie invitata si prezentara orala). Anul acesta, ca recunostere a profesionalimului nostru, **directorul de proiect a fost solicitat pentru o lectie invitata, in deschiderea congresului** (21 Octombrie - <http://www-fusion-magnetique.cea.fr/tritium2013/>). Pregatirea acestei lectii este parte a proiectului de IDEI EXPLORATORII. Pregatirea lectiei invitate a necesitat un timp de lucru, parte a proiectului. Lectia invitata a avut ca subiect:

#### **Progresses in Tritium Accident modeling D Galeriu, A Melintescu**

In acelasi timp, si folosind rezultatele din acest proiect, la congresul TRITIUM 2013 am contrinuit cu o prezentare orala (in colaboare cu cercetatori gemani) Prezentarea orala se axeaza pe progresele in dezvoltarea modelului nostru, CROPTRIT, unde am introdus **primul model pe plan international pentru formarea OBT in timpul noptii si am decelat surse de incertitudine in modelare (vezi mai sus).Titlul este**

#### **Preparatory steps for a robust dynamic model for OBT dynamics in agricultural crops**

A. Melintescu, D. Galeriu, S. Diabaté, S. Strack

**Atat lectia invitata, cat si prezentarea orala se trimit imediat pentru publicare (Fusion Science and Technology).**

In acelasi congress mai suntem colaboratori la un poster despre depunerea umeda a tritiului. Partenerii sunt cercetatori rusi din Sarov cu care colaboram demult: **HTO washout model- on the relationship between exchange rate and washout coefficient** (A Golubev, Y Balashov, S Mavrin, V Golubeva and D Galeriu)

Intr-o colaborare mai larga, la acest congres am contribuit la un poster: Organically bound tritium (OBT) analysis in environmental samples

Deoarece dezvoltarea modelelor depinde si de calitatea masurarilor (pentru decelarea proceselor si testare), suntem participanti ai unui grup international (initiat de AECL Canada si CEA Franta) privind problematica OBT. Am participat la al doilea workshop international (<http://gau.org.uk/obt/>) cu doua prezentari orale despre importanta unor noi experimente bine pregatite si despre importanta considerarii OBT in analizele de urina a muncitorilor atomici:

**Night OBT in crops - the need for well-designed experiments D Galeriu A Melintescu**

**OBT and human tritium dosimetry A Melintescu D Galeriu**

In prima comunicare orala am pledat pentru noi experimente in colaborare internationala. A doua comunicare orala a analizat rolul OBT in urina si dozimetria umana a tritiului in contextual unui nou model dozimetric propus de Comisia Internationala de Protectie Radiologica (ICRP). Pe baza experientei noastre in domeniu propunem modificari ale modelului ICRP si o adresa catre ICRP va fi trimisa.

Contactul cu cercetatorii din Marea Britanie, Franta, Canada a fost extrem de util pentru orientarea cercetarii din acest proiect.

Activitatea din 2013, pe plan international, sa incheiat cu participarea la meetingul anual IAEA-MODARIA (noiembrie Viena), parte a proiectului. Deoarece activitatea de grup leader la AIEA consuma foarte mult timp, nu este retribuita separat financiar, nu aduce beneficii stiintifice (partea romana duce greul), iar finantarea romana a fost substantial diminuta, Directorul de Proiect a anuntat AIEA ca isi va inceta activitatea ca grup leader si se va concentra pe cercetari strict legate de interesele romane. In prima parte a anului 2013, in cadrul acestui proiect de Idei Exploratori, partea romana a facut revizia finala si a inaintat la IAEA pentru publicare un document tehnic:

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Transfer of tritium in the environment after accidental releases from nuclear facilities*, Report of Working Group 7 of the IAEA's Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS II) Programme, IAEA-TECDOC, IAEA Vienna (in press).

Responsabilul IAEA pentru programul MODARIA, Gerhard Prohl, a avut aprecieri elogioase pentru contributia Romaniei la Programele IAEA. In continuare Cercetatori romani au participat la lucrarile grupurilor de lucru Wg2,5 si 8

La WG5 cu tematica

**Uncertainty and variability analysis for assessments of radiological impacts arising from routine discharges of radionuclides**

a fost prezentata oral o comunicare „Romanian experience with CANDU” D Galeriu A Melintescu unde se face o analiza a specificitatii transportului aerian al tritiului in conditiile amplasamentului Cernavoda

La W8 cu tematica Biota Modelling a fost prezentata oral lucrarea:

C-4 and OBT dynamics in wild animals A Melintescu D Galeriu

Ambele contributii ale parti Romane au fost bine apreciate.

Cu toate dificultatile inerente unui proiect de IDEI EXPLORATORII, unde solutiile NU exista pe plan international pentru unele procese, progresesle inregistrate in 2013 permit elaborarea unui prototip in viitorul apropiat. Modelul operational pentru formarea tritiului legat organic, cat si pentru transferul dinamic al apei tritiate din sol in plante sunt obiectivele noastre pentru prima parte a anului 2014 si asigura elaborarea prototipului cu aplicatii la grau si porumb (cultivate prioritar in arealul Cernavoda). Continuarea activitatii de dezvoltare a sistemului de supraveghere meteorologic la IFIN, pina la atingerea performantelor cerute de

meteorologia nucleara in regim de securitate nucleara va permite nu numai modelarea dinamica a transferului tritiului (acest proiect) dar si transferul tehnologic catre CNE Cernavoda unde se prefigureaza modernizarea supravegerii meteo. In principal este nevoie sa asimilam tehnica de masurare a turbulentei locale.

Director proiect,

Dr. Dan Galeriu

---