

FOREST GHG MANAGEMENT

Proiect IDEI 111/5.10.2011

Raport științific, faza 2 (15.12.2011-15.12.2012)

Instiut de Cercetări și Amenajări Silvice. Olivier Bouriaud, Marius Teodosiu, Daniel Turcu, Gheorghe Guiman, Cosmin Bragă, Laurențiu Ciobanu, Gheorghe Ștefan

1. Introducere, contextul științific

Emisiile de gaze cu efect de seră (GHG, în engleză "GreenHouse Gases") au crescut în toate țările industrializate (Wolff 2011) în ciuda faptului că aceste țări au semnat protocoale internaționale care le obligă să reducă nivelul emisiilor. Constatarea că nivelul emisiilor nu poate fi redus în mod semnificativ a condus la concluzia sunt necesare eforturi pentru a spori pe cât posibil stocarea de carbon, atât ecosistemele forestiere (pădurile), cât și altele (de ex. pășunile, fânețele) acționând ca și captatori de carbon. Dioxidul de carbon fiind gazul cu cea mai mare contribuție cantitativă la efectul de seră, rolul ecosistemelor forestiere în atenuarea (eng. *mitigation*) efectelor emisiilor de GHG a fost de întotdeauna considerat.

În primul raport IPCC (International Panel on Climate Change), Houghton et al. (1992) au sugerat o strategie agresivă de atenuare (*mitigation*) prin crearea unor păduri prin plantații la un nivel foarte mare (1 miliard de hectare, peste 130 de ori suprafața forestieră a României), concomitent cu stoparea tăierilor (*deforestation*) care ar conduce la o absorbție a carbonului la nivel de 0.5Gt de carbon pe an după 2050.

Idea de a echilibra emisiilor GHG printr-o politică forestieră este interesantă, însă se lovește de mai multe obstacole. În primul rând, contribuția ecosistemelor forestiere la stocarea carbonului, respectiv capacitatea lor de captare și de sechestrare, nu sunt cunoscute cu precizie. În al doilea rând, cercetările realizate în acest domeniu au prezentat capacitatea de captare și pe cea de stocare în fapt ca niște caracteristice dinamice, potențial afectate de variațiile climatului. Aceste necunoscute au servit ca motivație pentru mai multe proiecte la nivel mondial (de ex. CarboEurope, <http://www.bgc-jena.mpg.de/public/carboeur/>). Cu toate acestea, problema cea mai importantă din planul de reducere a emisiilor GHG constă în aceea că pădurile nu sunt gospodite pentru a fi captatoare sau depozitare de carbon, managementul forestier fiind mai degrabă optimizat pentru producerea de lemn sau pentru scopuri ecologice (de ex. protejarea terenurilor).

Efectul măsurilor de gospodărire a pădurilor asupra stocului de carbon și a capacității de depozitare a acestuia este puțin documentat, în prezent fiind în centrul atenției la nivel mondial. Proiectul finanțat de UE FP-7 „GHG Europe” (www.ghg-europe.eu) are scopul de a determina cum și în ce măsură ciclul carbonului și emisiile de GHG din ecosistemele terestre pot fi gestionate, printr-un management adecvat al ecosistemelor.

În cadrul "GHG Europe", Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice are sarcina de a studia „impactul gestionării terenului asupra balanței regionale de GHG în regiuni selectate, bogate în informații, din Europa”. Pentru a studia impactul gospodăririi asupra bugetului de GHG, se va constitui un gradient de gospodărire a pădurilor de fag, de la arborete echine, la relativ pluriene și pluriene, având condiții de sol, de creștere și de productivitate a căror variabilitate este minimizată, incluzând situații rare și relevante pentru România, precum pădurile naturale sau pășunile împădurite.

2. Scop și obiective

Proiectul își propune să determine impactul managementului forestier asupra fluxurilor GHG ale ecosistemelor forestiere, prin extinderea gradientului de tipuri de management studiate în cadrul proiectului PC-7 GHG Europa. Sunt incluse tipuri de management specifice României, altfel destul de rar întâlnite și nedocumentate.

Gradientul de management construit în cadrul proiectului *GHG Europe* este elaborat pentru fag, care este specia principală în România în ceea ce privește volumul pe picior. Aceasta este, în același timp, foarte răspândită și în Europa, având mare relevanță atât la nivel național, cât și la nivel european. Gradientul este constituit în prezent din 12 suprafețe de probă, reprezentative pentru gestionarea actuală a pădurilor, având ca ele-

mente contrastante doar frecvența și intensitatea intervențiilor silvotehnice (lucrări de îngrijire, tratamente silviculturale), executate de-a lungul ciclului de existență a arboretelor.

Lipsa condițiilor extreme poate fi semnalată ca un neajuns al acestui gradient: lipsesc arboretele naturale - arborete "de control", adevărata referință pentru orice studiu de management (gospodărire). Acestea, printr-o lipsă totală a managementului, se constituie în extremitatea lipsită de influență umană a gradientului. România, cu peste 200,000 ha de păduri naturale, este locația potrivită pentru un astfel de studiu. În afară de aceasta, în lumea științifică există o controversă cu privire la capacitatea pădurilor seculare și naturale de a funcționa ca și captatori de carbon (Knohl *et al.*, 2003, Luyssaert *et al.*, 2008, Wirth *et al.*, 2009), mulți cercetători considerând aceste păduri ca fiind mai degrabă neutrale în privința fluxului de carbon. Achiziția de date experimentale din cadrul proiectului va permite clarificarea ulterioară a statutului pădurilor naturale din Europa și a comportării acestora vis-à-vis de fluxurile de GHG. În acest sens, obiectivul este de a obține date provenite din măsurători experimentale ale fluxurilor și fondului de GHG.

Scopul fazei. Scopul fazei a constat înființarea suprațelor de probă permanente în care s-au instalat măsurătorile fluxurilor gazelor cu efect de seră, relizarea măsurătorilor dendrometrice necesare pentru a estima stocul supratran de carbon și demararea măsurătorilor fluxurilor gazelor monitorizate.

3 Rezultate

3.1 Dezvoltarea metodei. Gazele cu efect de seră studiate sunt bioxidul de carbon, metanul și protoxidul de azot. Dintre aceste trei gaze, strict din punct de vedere ale proprietățile fizice, protoxidul de azot este cel care prezintă cea mai mare capacitate de captare a radiațiilor ultraviolete: potențialul de încălzire global (PIG) este de 298 de ori mai mare decât cel al bioxidului de carbon (Lashof & Ahuja, 1990). Bioxidul este - în mod absolut - a doua moleculă cea mai importantă în efectul de seră, după vaporii de apă, în ciuda unui potențial de încălzire global redus. Metanul are o valoare a PIG-ului mult mai mare decât CO₂. Gazele studiate sunt, așadar, cele cu cea mai importantă contribuție în procesul de efect de seră.

Fluxurile de bioxid de carbon și de metan fac parte din ciclul carbonului (Schulze *et al.*, 2011). Bugetul carbonului ecosistemelor studiate are la bază trei fluxuri principale: cel de intrare - prin fotosinteză, cel de alocare și cel de ieșire. Bugetul de carbon poate fi estimat prin monitorizarea fluxurilor, larg folosită fiind metoda "Eddy Covariance". În această metodă, fluxurile gazelor schimbate (emise sau absorbite) între ecosistem și atmosferă sunt măsurate direct, cu ajutorul unor aparate de analiză a concentrației aerului situate deasupra coronamentul arborilor, împreună cu unele aparate de măsurători micro-meteorologice. Aceste aparate - și turnul asociat - sunt foarte costisitoare și nu permit analiza mai multe suprafețe. Deși această metoda a fost considerată de referință pentru estimarea bilanțului de carbon la nivel de arboret, cercetări recente au demonstrat limitele ei și mai ales tendința de a supraevalua cantitățile de carbon absorbite (Curtis *et al.*, 2011).

Bugetul poate fi exprimat și ca diferența dintre stocul observat la două momente diferite. Această abordare este cea mai puțin costisitoare și singura la ora actuală care permite analiza mai multor suprafețe. Principiul constă în a converti caracteristicile măsurabile ale arborilor în stoc de carbon.

3.2 Estimarea stocului de carbon. Măsurătorile necesare pentru a estima stocul de carbon a unui arboret -cel reprezentat în suprafața de probă- sunt măsurători biometrice clasice, necesare pentru a folosi unui model de cantitate de carbon. S-a folosit în cadrul proiectului un model de biomasă deoarece studiile specifice au demonstrat că cantitățile de carbon reprezintă o fracție constantă a biomasei. Sigur există niște deviații în ceea ce privește cantitățile de carbon per unitate de cantitate de lemn (g de C per g de biomasă). Dar eroarea în estimarea cantităților de carbon depășesc cu mult eroarea care rezultă din simplificarea care o reprezintă folosirea unui coeficient constant de conversie din biomasă în carbon (Joosten *et al.*, 2004).

Măsurătorile realizate în privința lemnului viu sunt cele realizate într-un inventar sistematic tipic: diametrul și înălțimea arborilor au fost înregistrate pentru fiecare suprafață. Pentru a estima cantitățile de carbon prezent în lemnul mort, măsurătorile sunt mai complicate pentru că starea lemnului influențează cantitatea de carbon care a ramas în lemnul (Olajuyigbe *et al.*, 2011). Astfel, inventarul trebuia să se realizeze având în vedere cantitatea și calitatea lemnului mort care este descrisă în mod tipic prin folosirea unor clase de descompunere.

În codrul secular Giumalău, în care cantitatea de lemn mort este foarte mare (Figura 1) și prezintă un grad ridicat de variabilitate spațială în cadrul suprafeței, s-a studiat relația între gradul de descompunere și densitatea lemnului. Acest studiu era necesar pentru a converti în mod precis cantitățile de carbon stocate în lemnul mort într-o pădure naturală de molid. Studiul s-a concretizat prin redactarea unui articol științific (Teodosiu & Bouriaud, 2012).



Figura 1 Suprafața 1 din Codrul Secular Giumălău. De remarcat cantitățile mari de lemn mort la sol.

Specificul pădurilor montane naturale de molid este tocmai cantitățile deosebite de lemn mort, care este un suport și mediator de biodiversitate. Din estimările de biomasă realizate se observă că stocul cel mai mare se află în fagetul natural (tabelul 1). Cantitățile de carbon stocate este astfel mai mare în fagetul natural (ca. +70%). Efectul managementului este foarte semnificativ: păduri naturale stocează 50% mai mult carbon decât cele gospodornite.

Tabelul 1. Valori comparative a cantităților de carbon stocat în arborete studiate:

Regiune	Suprafață	Biomasă individuală Maximă (t)	Biomasă medie/arbori	Biomasă arbori vii (t.ha ⁻¹)	Biomasă lemn mort (t.ha ⁻¹)	Biomasă totală (t.ha ⁻¹)
Vest (Nera)	1 - natural	9.36	1.48 ± 1.63	458.35	20.78	479.13
	2 - natural	8.63	1.21 ± 1.43	488.77	52.61	541.38
Vest (Văliug)	3 - cultivat	1.95	0.91 ± 0.39	306.72	9.13	315.85
	4 - cultivat	2.42	0.93 ± 0.53	166.98	7.52	174.50
Est (Giumălău)	1 - natural	4.89	1.55 ± 1.43	228.82	84.59	293.41
	2 - natural	5.95	1.26 ± 1.19	245.54	74.42	309.96

3.3 Estimarea dinamicii stocului de carbon. Estimarea stocului de carbon din pădurile studiate a utilizat analize dendrocronologice bazate pe o metodologie consacrată (Cook 1987), având drept scop analiza variabilității creșterii arborilor în relație cu factori precum climatul. Spre deosebire, estimarea dinamicii stocului de carbon nu se concentrează asupra arborilor dominanți, iar variațiile creșterii radiale, reflectate prin variabilitatea lății inelului anual, nu sunt standardizate pentru a elimina unele factori interne precum vârsta. Eșantionajul realizat în cadrul reconstituirii creșterii radiale la nivel de arboret trebuie să țină cont de gradul mare de diferențiere a ratei de creștere dintre arbori, respectiv să nu fie focalizat asupra unui număr redus de arbori mari, ci să includă arbori de toate dimensiune. Eșantionajul sistematic este cel mai potrivit în acest caz. Metoda de eșantionaj și prelucrarea datelor în vederea reconstituirii productivității arboretelor (în sensul bilanțului de carbon) este descrisă pe larg în Babst, Bouriaud & Frank (2012) și aplicată arboretelor studiate în proiect (Fig 2).

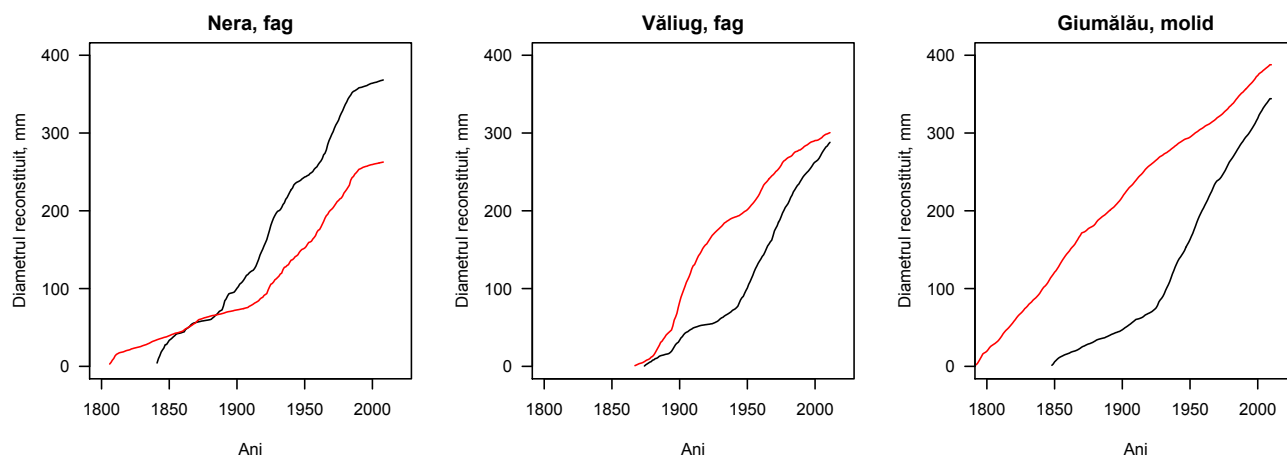
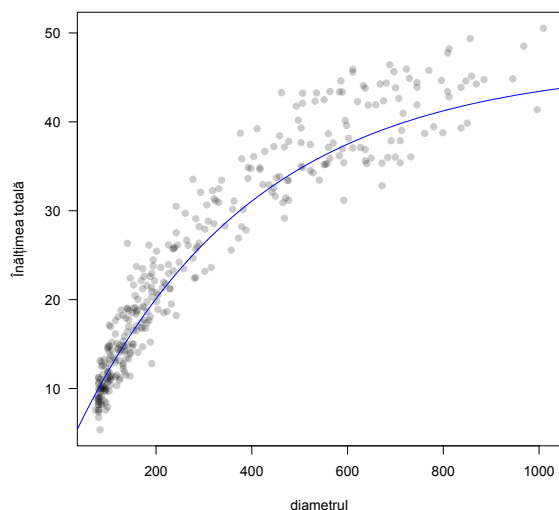


Figura 2. Exemple de reconstituirea diametrului retrospectiv pentru arbori cu rate de creștere diferite din cele 3 regiuni studiate

Reconstituirea dinamicii stocului de carbon al unui arboret implică aplicarea unor ecuații de biomasă, care, în general, sunt în funcție de diametrul arborilor (incluzând scoarța). În cazul nostru (la fag), s-a observat că

variabilitatea lăţimii scoarţei poate induce erori în reconstituirea diametrului istoric extern al arborilor. Într-adevăr, metoda de reconstituire a diametrului se bazează fie pe ipoteza (i) că lăţimea scoarţei este proporţională cu diametrul arborului, fie pe faptul că (ii) creşterea scoarţei este proporţională cu lăţimea inelului radial. Aceste două ipoteze s-au dovedit a nu fi documentate pentru fag, fiind studiate în mod specific în cadrul proiectului. În acest sens, s-au prelevat 240 de eşantioane de scoarţă, pentru a observa care din cele două ipoteze este cea mai plauzabilă. Rezultatele studiului au condus la redactarea unui articol ştiinţific aproape de finalizare, trimis spre evaluare: Bouriaud, Turcu & Ponnette 2013 (*în preparare*).

Estimarea biomasei retrospective a arborilor, convertită mai departe în carbon, necesită reconstituirea înălţimii arborilor - al doilea element de intrare pentru funcţiile aplicate (de volum sau direct de biomasă). Creşterea în înălţime trebuie dedusă din creşterea radială, deoarece creşterea arborilor nu este documentată. Pen-



tru arboretele studiate, s-a stabilit o curbă a înălţimilor în funcţie de diametrul, folosindu-se un model exponenţial derivat din modele logistice. Metoda de ajustare este cea prezentată de Parresol *et al.* (1999) pentru modele nonlineare care prezintă o heterogeneitate a varianţei (heteroscedasticitate) şi se bazează pe ajustări iterative cu ponderare funcţie de heteroscedasticitate constatată la fiecare pas. Ecuaţia principală este ajustată cu algoritmul iterativ Gauss-Newton, pe baza optimizării verosimilităţii. Fiind modele având scopuri predictive, este necesară stabilirea estimărilor care să îndeplinească criteriile statistice esenţiale: absenţă a bias-ului, varianţă reziduală constantă. S-a efectuat şi analiza PRESS a rezidualelor.

Figura 3. Model de înălţime în funcţie de diametrul la 1.3 m pentru arborii din suprafaţa 1 Izvoarele Nerei

Monitoringul fluxui GHG. Completări ale metodologiei monitoringului gazelor cu efect de seră au fost aduse cu ocazia reunirii participanţilor la proiectul PC-7 (Argeş - Romania, 17-20.04.2012, când s-a propus modificarea metodei de recoltare a probelor de gaz în teren. Etanşeitatea camerelor de respiraţie folosite a fost îmbunătăţită cu această ocazie, fiind reconfigurate capacele acestora. S-a pus de asemenea problema calităţii septum-urilor furnizate, constituite dintr-un material foarte diferit faţă de cele folosite în Germania, fiind acceptată folosirea unora din cauciuc, care ar asigura o etanşeitate mai bună. Totuşi, analizele cromatografice realizate au demonstrat mai târziu că septum-ul preconizat de echipa din Germania prezintă un defect important, incompatibil scopului măsurărilor, şi anume că absoarbe carbonul.

Problema secetei. Anul 2012 a fost un an cu totul deosebit din punct de vedere climatologic, respectiv total defavorabil desfăşurării monitoringului, prin faptul că solul a fost foarte uscat, iar fenomenele de respiraţie care trebuiau monitorizate au fost cvasi-inexistente. Secetea a ridicat şi probleme de etanşeitate a inelelor, unele fisuri în sol fiind vizibile deja în luna iunie. Ploile în cantitate foarte mică au condus la uscarea rapidă a solului în adâncime, iar vântul a condus la o uscare rapidă a părţii superioare a solului, astfel încât primii 5 cm au fost aproape întotdeauna uscaţi. În acelaşi timp, temperatura, descrisă ca elementul principal în determinarea intensităţii respiraţiei, este influenţată şi descompunerea materiei organice. În condiţiile secetoase severe, precum cele întâlnite în anul 2012, deficitul de umiditate reduce drastic activitatea biologică în solul. Literatură de specialitate (Davidson *et al.*, 2008; Epron *et al.*, 1999; Reichstein *et al.*, 2003) arată că fluxurile de GHG sunt mai intense în anumite condiţii de temperatură şi umiditate, neîndeplinite însă în cursul anului 2012. În consecinţă, este de aşteptat ca fluxurile care se vor emite în primavara anului 2013, în condiţii normale, vor fi foarte mari, potrivit regulii compensării. În consecinţă, în momentul când vor fi uilizate, camerele de respiraţie amplasate vor surprinde şi consecinţele datorate acestei secete extraordinare, precum şi o eventuală compensare în timp a emisiilor gazelor cu efect de seră.

3.2. Punerea în valoare a rezultatelor proiectului. Cercetările realizate au fost puse în valoare prin redactarea mai multor articole ştiinţifice, şi diseminarea lor s-a efectuat prin prezentarea proiectului la o conferinţă internaţională, după cum urmează. *Articole ISI publicate/acceptate:* Teodosiu & Bouriaud (2012), Walentowski *et al.* (2012). *Articole în curs de finalizare:* Bouriaud, Turcu & Ponnette (2013) Modeling bark

growth as a function of tree age and diameter in common beech ; Bouriaud et al. 2013. Analiza comparativă a cantităților de carbon stocate în păduri de fag în funcție de tipul și intensitatea managementului forestier. *Conferință internațională Pitești, România, Aprilie 2012. GHG Europe annual meeting.*

4. Concluzii și direcții viitoare de cercetare

Eșantionajele realizate au avut scopul de a evalua stocul de carbon aerian arborete dominate de fag, respectiv molid, și în zone împădurite și cu vegetației forestieră. S-a studiat în mod special densitatea lemnului mort în păduri de molid pentru că cantitățile de lemn mort este foarte important din punct de vedere cantitativ (dar și calitativ pentru relația lui cu biodiversitate).

Analiza retrospectivă a creșterii arborilor a pus în evidență o lipsă de informație în privința dinamicii creșterii scoarței. Un articol este în curs de redactare pe acest subiect.

Monitorizarea emisiilor GHG pe rețeaua înființată a fost începută conform planului dar secetea a perturbat emisiile gazelor studiate. Camerele de respirație amplasate vor surprinde și consecințele datorate acestei secete extraordinare, precum și o eventuală compensare în timp a emisiilor gazelor cu efect de seră.

Întocmit,

Dr.ing. Olivier Bouriaud



Bibliografie

- Babst, F., Bouriaud, O., Frank, D. 2012. A new sampling strategy for tree-ring based forest productivity estimates. *TRACE*, 10, 62-70.
- Cook, E. R. (1987). The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin*, 47, 37-59.
- Curtis, P. S., Hanson, P. J., Bolstad, P., Barford, C., Randolph, J. C., Schmid, H. P., & Wilson, K. B. (2002). Biometric and eddy-covariance based estimates of annual carbon storage in five eastern North American deciduous forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113(1), 3-19.
- Davidson, E. A., Nepstad, D. C., Ishida, F. Y., & Brando, P. M. (2008). Effects of an experimental drought and recovery on soil emissions of carbon dioxide, methane, nitrous oxide, and nitric oxide in a moist tropical forest. *Global Change Biology*, 14(11), 2582-2590.
- Epron, D., Farque, L., Lucot, É., & Badot, P. M. (1999). Soil CO₂ efflux in a beech forest: dependence on soil temperature and soil water content. *Annals of Forest Science*, 56(3), 221-226.
- Houghton, J. T. (Ed.). (1992). *Climate change 1992*. Cambridge University Press.
- Joosten, R., Schumacher, J., Wirth, C., & Schulte, A. (2004). Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L.) in western Germany. *Forest Ecology and Management*, 189(1), 87-96.
- Knohl, A., Schulze, E. D., Kolle, O., & Buchmann, N. (2003). Large carbon uptake by an unmanaged 250-year-old deciduous forest in Central Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*, 118(3), 151-167.
- Lashof, D. A., & Ahuja, D. R. (1990). Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming.
- Luyssaert, S., Schulze, E. D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B. E., ... & Grace, J. (2008). Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455(7210), 213-215.
- Olajuyigbe, S. O., Tobin, B., Gardiner, P., & Nieuwenhuis, M. (2011). Stocks and decay dynamics of above-and belowground coarse woody debris in managed Sitka spruce forests in Ireland. *Forest Ecology and Management*, 262(6), 1109-1118.
- Parresol, B. R. (2001). Additivity of nonlinear biomass equations. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(5), 865-878.
- Reichstein, M., Rey, A., Freibauer, A., Tenhunen, J., Valentini, R., Banza, J., ... & Yakir, D. (2003). Modeling temporal and large-scale spatial variability of soil respiration from soil water availability, temperature and vegetation productivity indices. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(4), 1104.
- Schulze, E. D., Ciais, P., Luyssaert, S., Schrumpf, M., Janssens, I. A., Thiruchittampalam, B., ... & Dolman, A. J. (2010). The European carbon balance. Part 4: integration of carbon and other trace-gas fluxes. *Global Change Biology*, 16(5), 1451-1469.
- Teodosiu, M., & Bouriaud, O. (2012). Deadwood specific density and its influential factors: A case study from a pure Norway spruce old-growth forest in the Eastern Carpathians. *Forest Ecology and Management*, 283, 77-85.
- Walentowski H, Schulze ED, von Hessberg A, Bußler H, Baldauf L, Schulze I, Kaiser M, Böker R, Bösch W, Herzog S, Schulze W, M Teodosiu & Bouriaud O. (2012). An innovative view on reconciling biodiversity and timber production in a Natura-2000 private forest. *Annals of Forest Research*, in press.
- Wirth, C., Gleixner, G., & Heimann, M. (Eds.). (2009). *Old-growth forests: function, fate and value* (Vol. 207). Springer.
- Wolff, E. W. (2011). Greenhouse gases in the Earth system: a palaeoclimate perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1943), 2133-2147.