

**Cadrul metodologic al măsurătorilor de teren
pentru calibrarea imaginilor de satelit radar
folosite pentru estimarea umidității de suprafață a solurilor**

*La méthodologie des mesures de terrain nécessaires pour étalonner
les images radar utilisées pour l'estimation de l'humidité surfacique du sol ¹*

*The methodology of field measurements to calibrate satellite radar images used
to estimate surface soil moisture ²*

*Cristina Radnea ³ Ruxandra Vintilă ³, Petre Voicu ³,
Violeta Poenaru ⁴, Florin Șerban ⁴, Octavian Balotă ⁵,
Cătălin Lazăr ⁶, Elena Petcu ⁶, Radu Mudura ⁷*

Introducere

Lucrarea prezintă cadrul metodologic al măsurătorilor necesare pe teren pentru prelucrarea imaginilor achiziționate de sateliții radar, în vederea estimării umidității de suprafață a solurilor. Interesul actual pentru cunoașterea acestei variabile este legat de simularea matematică a formării recoltelor la nivelul parcelelor agricole. În timp ce simularea la scară regională și globală este operațională pe plan mondial de peste două decenii, interval în care erorile de predicție s-au diminuat sensibil, simularea formării recoltelor cu acuratețea cerută la scara locală, la nivelul parcelelor agricole, este încă în fază de cercetare. Pe de altă parte, dezvoltarea agriculturii de precizie exercită o presiune importantă în direcția dezvoltărilor care să permită trecerea la previziuni operaționale și suficient de precise la scara parcelelor (Zhang *et al.*, 2002).

¹ Le Protocol de Mesure de la Rugosité du Sol (en français) se trouve dans l'Annexe

² The Protocol for Soil Roughness Measurement (in English) is to be found in the Annex

³ Institutul de Cercetare - Dezvoltare pentru Pedologie, Agrochimie și Protecția Mediului (ICPA București)

⁴ Agenția Spațială Română (ASR / ROSA)

⁵ InterGIS SRL

⁶ Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Agricultură (ICDA Fundulea)

⁷ Centrul Român pentru Utilizarea Teledetecției în Agricultură (CRUTA)

Pentru a fi pertinente la această scară, modelele au nevoie de date reale, mai ales pentru fazele fenologice în care planta este sensibilă la diverse stresuri: hidric, nutrițional, atacuri parazitare etc. Referindu-ne numai la stresul hidric, în lipsa valorii reale a umidității de suprafață, simularea perioadei "semănat-răsărit", foarte influențată de apa disponibilă pentru germinarea semințelor, poate fi afectată de erori importante, rezultatele simulărilor fiind incerte sau chiar greșite.

De fapt, una dintre primele cerințe ale modelării la scara parcelei o constituie inițializarea compartimentului hidric al modelelor agrofiziologice cu date reale asupra umidității de suprafață, la momente cheie ale ciclului fenologic caracteristic fiecărei culturi, desigur în condițiile în care sunt disponibile și proprietățile fizice permanente ale solurilor din zona de interes (Brisson *et al.*, 1998).

Îndeplinirea acestei cerințe prezintă însă constrângeri de natură economică, deoarece măsurătorile de teren impuse de eșantionările spațiale și temporale care sunt necesare la scara parcelei, mai ales pentru agricultura de precizie, sunt costisitoare. Din acest motiv actualmente se caută soluții indirecte, viabile economic, cea mai promițătoare fiind utilizarea imaginilor de teledetecție în domeniul radar. Această direcție se bazează pe cercetările efectuate mai ales în ultimile decenii, care au arătat că există o corelație între umiditatea de suprafață și coeficientul de retrodifuziune, parametru care se poate estima din datele radar (Ulaby *et al.*, 1986; Mattikalli *et al.*, 1998).

Lucrarea de față prezintă o parte din contribuția părții române în primul an de colaborare cu Agenția Spațială Franceză (CNES Toulouse) și Institutul Național de Cercetări Agronomice (INRA Avignon) în cadrul proiectului ADAM ("Asimilarea datelor spațiale în modele agrofiziologice")

(<http://medias.obs-mip.fr/adam>; <http://kalideos.cnes.fr/>).

Experimentele de teren au urmat cadrul metodologic care este sintetizat în această lucrare și s-au desfășurat în perioada octombrie 2000 - mai 2001, pe parcelele de producție cultivate cu grâu de toamnă aparținând ICDA (ICCPT) Fundulea.

I Pregătiri necesare la sol pentru folosirea imaginilor radar

Pentru estimarea umidității de suprafață a solurilor s-au achiziționat imagini de către sateliții ERS_2 (Agenția Spațială Europeană) și RADARSAT_1 (Centrul Canadian de Teledetecție).

ERs_2 a fost lansat în aprilie 1995 pe o orbită polară de altitudine 785 km, având îmbarcate mai multe instrumente. De interes pentru agricultură este SAR (Synthetic Aperture Radar) care operează în banda C (5.3 GHz / 5.6 cm) în două moduri ("image" și "wave"), cu polarizare verticală (VV: transmisie verticală, recepție verticală), unghi de incidență 23° și rezoluție spațială cuprinsă între 12 m și 30 m. În anul desfășurării experimentului, frecvența de revizitare a satelitului ERS_2 a variat în jurul ciclului de 16 zile.

RADARSAT_1 a fost lansat în noiembrie 1995 pe o orbită de altitudine 798 km, instrumentul SAR operând tot în banda C (5.3 GHz / 5.6 cm) în opt moduri diferite. Polarizarea este orizontală (HH: transmisie orizontală, recepție orizontală), iar unghiul de incidență poate varia între 10° ("extended low mode") și 50 ° ("extended high mode" și alte moduri). Rezoluția spațială variază între 10 și 100 m, iar frecvența de revizitare se situează între 1 și 24 de zile, depinzând de latitudine și programare.

Modurile de funcționare, unghiurile de incidență și polarizarea fac ca cele două tipuri de imagini SAR prezentate mai sus să se completeze reciproc, ca bogăție de informație retrodifuzată.

O recomandare este să se utilizeze ambele tipuri de imagini (polarizare VV și HH) ori de câte ori nu există constrângeri tehnice sau financiare.

Pentru comandarea imaginilor radar a fost necesar să se cunoască, în afara coordonatelor geografice ale zonei de interes din Fundulea, cum este făcută acoperirea cu imagini, cu alte cuvinte să se cunoască mozaicul de culoare exploatare ("swaths") și împărțirea lor pe latitudini în scene. Figura 1 prezintă modul de acoperire a României⁸ cu scene ESR2 în perioada 30/09/2000 - 1/06/2001, luând în considerare atât orbitele ascendente cât și cele descendente ale satelitului.

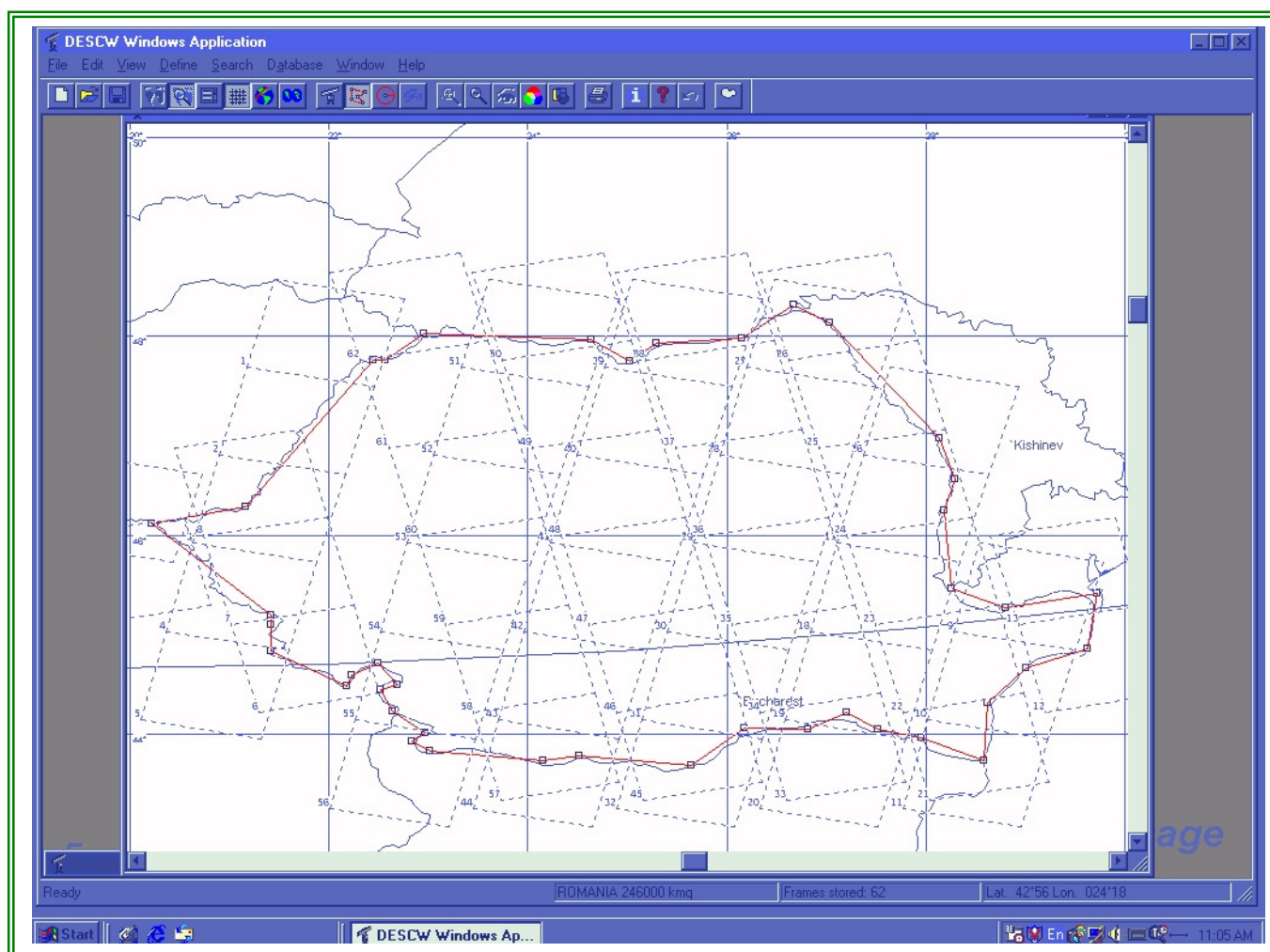


Figura 1 Modul de acoperire a teritoriului național cu scene ERS_2

⁸ Harta țării apare deformată față de forma cunoscută întrucât este în proiecție Mercator, folosită pentru întreg globul în programul informatic folosit ("Display Earth Remote Sensing Swath Coverage" care a fost pus la dispoziție gratuit de Agenția Spațială Europeană).

Față de datele distribuite standard la nivel de scenă, a fost posibil să se comande și sferturi de scenă, astfel încât din bugetul alocat s-a putut face o eșantionare temporală mai densă, asigurându-se monitorizarea mai apropiată de optim a grâului de toamnă de-a lungul ciclului fenologic.

Eșantionare temporală optimă înseamnă ca toate fazele semnificative din punct de vedere fenologic pentru culturile monitorizate să aibă imagini radar achiziționate, iar suplimentar și momentele situate după evenimente climatice excepționale (ploi sau grindină).

Tot pentru comandarea imaginilor este necesar să se cunoască modurile de funcționare ale instrumentului SAR care optimizează estimarea temei căutate.

Dacă tema căutată este umiditatea de suprafață a solului, în cazul imaginilor RADARSAT se recomandă programarea satelitului pentru achiziționare în modul "extended low incidence beam mode", care atenuează efectele rugozității solului și pe cele ale vegetației, potențând astfel aspectele corelate cu umiditatea solului. ERS nu are acest mod de operare.

Coeficientul de retrodifuziune radar și umiditatea solului

Semnalele radar retrodifuzate de o suprafață neacoperită cu vegetație depind de panta și orientarea suprafeței respective, de rugozitatea terenului și de constanta dielectrică a solului. Deoarece constanta dielectrică a apei este în jur de 80, iar a solului uscat mai mică decât 5, constanta dielectrică poate fi un indicator al umidității solurilor (Mattikalli *et al.*, 1998). Numeroase cercetări au arătat că există o corelație liniară pozitivă între coeficientul de retrodifuziune radar σ^0 corespunzător benzii C (3.9-5.75 GHz) și umiditatea volumetrică a solurilor pe adâncimea de 0 - 5 cm, indiferent de scara spațială (Tabel 1): date radar de teren (Ulaby *et al.*, 1978; Bernard *et al.*, 1982; Bruckler *et al.*, 1988), aeriene (Estes *et al.*, 1977; Prévot *et al.*, 1993) sau satelitare (Wooding *et al.*, 1993).

Tabel 1 Relația între coeficientul de retrodifuziune corespunzător benzii C (3.9 - 5.75 GHz) și umiditatea volumetrică a solurilor

Sursă documentară	Scara	Polarizare	Unghi incidență	Adâncime sol (cm)	Pantă	Coef. de corel.
Bernard <i>et al.</i> , 1982	Teren	HH	12°	0 - 5	0.400	0.85
Bruckler <i>et al.</i> , 1988	Teren	HH	20°	0 - 5	0.342	0.92
Prévot <i>et al.</i> , 1993	Avion	HH	20°	0 - 5	0.304	0.82
Wooding <i>et al.</i> , 1993	Satelit	VV	23°	0 - 5	0.262	

Coeficientul de retrodifuziune radar σ° se măsoară în decibeli și este dat de o relație de forma:

$$\sigma^\circ [\text{dB}] = a m_v + b \quad (1)$$

unde a și b sunt coeficienți care se determină empiric, iar m_v este umiditatea volumetrică a solului ($\text{cm}^3 / 100 \text{ cm}^3$).

Ținte-etalon pentru calibrarea imaginilor radar

Pentru calibrarea imaginilor radar, literatura recomandă amplasarea unor triedre reflectorizante ("ținte-etalon") în zona de interes, confecționate de obicei din aluminiu, suficient de mari încât să poată fi detectate în imaginile radar. Localizarea triedrelor trebuie făcută foarte exact, cu erori sub un pixel SAR.

Geometria triedrelor și orientarea lor spațială depind de traiectoria satelitului și de unghiul de incidență al achiziției. Principial se urmărește ca radiația radar transmisă către o față a triedrului să fie refractată controlat pe o altă față a acestuia, iar semnalul retrodifuzat să fie recunoscut la recepție.

Triedrele trebuie amplasate pe un teren plan, la depărtare de clădiri, recomandabil la minim 100m. Cu cât există mai multe triedre în zonă, calibrarea imaginilor se va face mai ușor și mai bine, numărul minim fiind de un triedru pentru orbita ascendentă și unul pentru orbita descendentă.

Figura 2 prezintă cele două triedre reflectorizante, proiectate de Centre National d'Études Spatiales (CNES) din Franța, câte unul pentru fiecare tip de orbită, care au fost amplasate la ICDA Fundulea. S-a privilegiat orientarea în raport cu orbitele ERS_2 în detrimentul RADARSAT_1.



Figura 2 Triedre reflectorizante folosite ca ținte-etalon pentru calibrarea imaginilor radar

II Măsurători de teren

Culoarul exploatat de ERS_2 este de 100 km, cel exploatat de RADARSAT_1 variază între 50 și 500 km. O imagine acoperă o zonă foarte întinsă în ambele cazuri, ceea ce constituie, pe lângă buna corelație între σ^0 și m_v , un atu major al folosirii imaginilor radar achiziționate de sateliți.

Pentru estimarea parametrilor a și b din formula (1) sunt necesare măsurători de umiditate și rugozitate în zone reprezentative din sit, zone care pe teren reprezintă un disc care circumscrie pixelul SAR (ERS, respectiv RADARSAT). Punctele unde se fac măsurătorile trebuie regăsite în imaginea radar, de aceea trebuie localizate în teren folosind echipamente GNSS.

Eroarea trebuie să se situeze sub 1 pixel SAR, ceea ce înseamnă o eroare sub 10m. De dorit este însă ca acuratețea să fie sensibil mai bună, adică eroarea să se situeze în jurul a 3m, pentru a răspunde cerințelor agriculturii de precizie.

Măsurarea umidității

În punctele alese, prelevările de probe de sol pentru determinarea umidității de suprafață se fac cât mai apropiat în timp de ora trecerii satelitului, consemnându-se dacă la momentul prelevărilor este rouă, brumă, ceață sau ploaie. Se consemnează, de asemenea, dacă s-au produs astfel de evenimente între ora trecerii satelitului și momentul prelevării de probe, atunci când există un decalaj semnificativ între ele (de exemplu, o noapte).

Umiditatea de suprafață a solului se poate determina pe baza metodei gravimetrice, pe probe recoltate în cilindri, sau cu echipamentul TDR.

Dacă acesta are electrozi de 5 cm, ei se introduc vertical; dacă ei sunt mai lungi, se recomandă să se introducă oblic, astfel încât să integreze valori tot pe 5 cm (valabil pentru banda C, mai exact 5.3 GHz / 5.6 cm).

Măsurători de rugozitate

Măsurătorile de rugozitate sunt necesare deoarece semnalul retrodifuzat depinde semnificativ de această caracteristică. Ele sunt necesare cel puțin imediat după semănare, când rugozitatea este maximă, și spre sfârșitul ciclului fenologic, când terenul are rugozitate sensibil mai mică și mai constantă în timp. Suplimentar este bine să se facă măsurători și după evenimente climatice excepționale, cum sunt ploi cu grindină. Profilul de rugozitate se face perpendicular pe rândurile arate.

Literatura recomandă să se adauge suplimentar un profil de rugozitate de-a lungul rândurilor (Beaudoin *et al.*, 1990). Pentru fiecare punct sunt necesare mai multe repetiții, localizarea repetițiilor în cadrul discului fiind aleatoare.

Cerințe de construcție pentru rugozimetru

Rugozitatea este definită de doi parametri fundamentali: abaterea standard a variației înălțimilor suprafeței σ ("rms height") și lungimea de corelație a suprafeței l ("surface correlation length") (Ulaby *et al.*, 1986):

$$\sigma = \left[\frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N (z_i)^2 - N(\bar{z})^2 \right) \right]^{1/2} \quad (2)$$

unde

z_i = înălțimea "i" măsurată, N = numărul de măsurători, $\bar{z} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i$ = media

Lungimea de corelație a suprafeței este definită de obicei ca deplasarea pentru care funcția de autocorelație normalizată ρ este:

$$\rho(l) = 1/e \quad (3)$$

unde ρ este pentru o deplasare spațială $x'=(j-1)\Delta x$ pe direcția profilului:

$$\rho(x') = \frac{\sum_{i=1}^{N+1-j} z_i z_{j+i-1}}{\sum_{i=1}^N z_i^2} \quad (4)$$

Lungimea de corelație a unei suprafețe furnizează o referință pentru estimarea independenței statistice a două puncte pe suprafață. Aceasta înseamnă că dacă cele două puncte sunt separate de o distanță orizontală $> l$, atunci înălțimile lor pot fi considerate statistic independente. Pentru a putea fi folosite în prelucrarea imaginilor radar, datele de rugozitate trebuie să fie măsurate cu un rugozimetru special (Oh *et al*, 1998) astfel încât:

- să permită calcularea lungimii de corelație, ceea ce înseamnă profile relativ lungi (1,5 - 2 m)
- să aibă un eșantionaj spațial Δx de-a lungul profilului astfel încât

$$\Delta x < \lambda / 10 \quad (5), \text{ unde } \lambda \text{ este lungimea de undă a radiației radar}$$

III Modul de valorificare a datelor de umiditate de suprafață folosind imagini radar

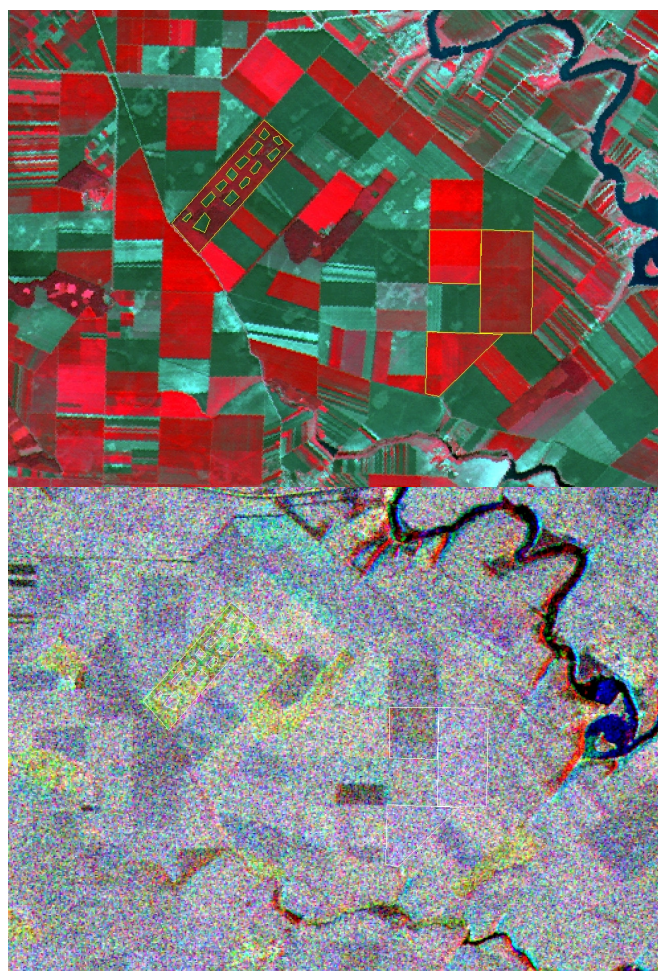
Determinările de umiditate și rugozitate⁹ făcute la sol au servit la estimarea coeficienților a și b din formula (1), după care rezultatele privind umiditatea de suprafață au fost extrapolate la nivel de sub-zone din imaginile radar (Prévot *et al*, 2003).

Va urma etapa de calibrare a unui model agrofiziologic de formare a recoltei, datele de umiditate fiind folosite la inițializarea compartimentului hidric, la fiecare dată cheie a ciclului fenologic pentru care s-au făcut în mod deliberat

⁹ Protocolul folosit la măsurarea rugozității este prezentat în Anexă

măsurători. În acest fel se așteaptă ca modelul să fie stabilizat la momente semnificative, folosindu-se date reale, ceea ce până în prezent nu se realiza în modelarea formării recoltelor la scară regională și globală. Dacă la aceste scări stabilizarea modelului agrofiziologic cu date reale nu este indispensabilă, acest lucru este esențial la scara parcelei.

Figura 3 prezintă o zonă din Sectorul de Producție al ICDA Fundulea pe o imagine SPOT XS din martie 2001 și un set de trei imagini ERS_2 suprapuse, achiziționate în perioada noiembrie-decembrie 2000.



Imaginea SPOT XS din
13/03/2001

în compoziție colorată standard (Roșu :
XS3, Verde : XS2, Albastru : XS1)

Valorile din imagine reprezintă
reflectanța la nivelul covorului vegetal
(Top of Coverage)

Compoziție colorată din 3 imagini ERS_2:

Roșu : 13/11/2000,

Verde : 16/11/2000,

Albastru : 2/12/2000

Valorile din imagini reprezintă
coeficienți de retrodifuziune, exprimați în dB

Figura 3 Validarea corectitudinii
georeferențierii imaginilor radar
pe baza unei imagini de referință SPOT XS

Mulțumiri

Autorii aduc deosebite mulțumiri conducerii ICDA Fundulea, conducerii ICDA – Sector Producție, ca și colectivului din cadrul Laboratorului de Fiziologia Plantelor din același institut, care au acordat tot sprijinul la realizarea acestei lucrări, permițând punerea la punct și validarea cadrului metodologic expus.

De asemenea, autorii aduc mulțumiri pline de gratitudine colegilor francezi de la CNES Toulouse și INRA Avignon pentru achiziționarea imaginilor radar și îndrumările competente date de-a lungul desfășurării de până acum a colaborării în cadrul proiectului ADAM.

Bibliografie

- Bernard, R. *et al.* 1982, C-band radar for determining surface soil moisture. *Remote Sensing of Environment*, 12, 189-200.
- Beaudoin, A. *et al.* 1990, SAR observations and modeling of the C-Band backscatter variability due to multiscale geometry and soil moisture. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28(5).
- Brisson, N. *et al.* 1998, STICS : a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterisation applied to wheat and maize. *Agronomie*, 18, 311-346.
- Bruckler, L. *et al.* 1988, Near surface soil moisture estimation from microwave measurements. *Remote Sensing of Environment*, 26, 101-121.
- Estes, J.E. *et al.* 1977, Measuring soil moisture with an airborne imaging passive microwave radiometer. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43, 1273-1281.
- Mattikalli, M.N. *et al.* 1998, Microwave remote sensing of soil moisture for estimation of profile soil property. *Int. Journal of Remote Sensing* 19, 1751-1767.
- Oh, Y. *et al.* 1998, Condition for precise measurement of soil surface roughness. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(2).

- Prévot, L. *et al.* 1993, Estimating the characteristics of vegetation canopies with airborne radar measurements. *Int. Journal of Remote Sensing*, 14, 2803-2818.
- Prévot, L., Voicu, P., Poenaru, V., Vintilă, R., Deboissezon, H., and Pourthie, N., 2003, Surface soil moisture estimation from SAR data over wheat fields during the ADAM project. *Proc. Int. Geoscience and Remote Sensing Symp. IGARSS'03*, 4, 2885-2887 ([IEEE Xplore Digital Library](#)).
- Ulaby, F.T. *et al.* 1978, Microwave backscatter dependence on surface roughness, soil moisture and soil texture, part I - Bare soil. *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*. GE17: 33-40.
- Ulaby, F.T. *et al.* 1986, **Microwave remote sensing** - Active and Passive, vol. II: Radar RS and surface scattering and emission theory (Artech House Inc., 1986)
- Zhang, N., et al. 2002, Precision agriculture - worldwide overview. *Computers and electronics in agriculture*, 36, 113-132.

1. Rugosité du sol

16/10/00

Petre Voicu, Cristina Radnea, Roxana Vintilă

rvi@icpa.ro

2. Objectif des mesures

Les mesures de rugosité sont importantes pour expliquer le comportement radiométrique des sols, en particulier dans le domaine des micro-ondes. On tentera de réaliser pour les unités d'étalonnage deux séries de mesures: une en début de culture, représentative de la rugosité au semis, la deuxième après une pluviométrie significative, représentative de la rugosité des sols durant la phase de fin d'hiver, printemps, été.

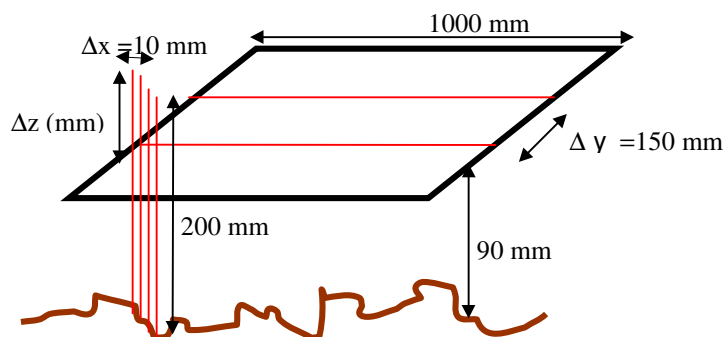
3. Méthode de mesures

Les mesures de rugosité sont effectuées avec un peigne à aiguilles.

3.1 Le peigne à aiguilles et les mesures



Schéma du dispositif de mesure de rugosité



- boîte dont le cadre est placé à 90 mm de hauteur au-dessus du plan de référence
- quatre peignes espacés tous les 150 mm (Δy), dont deux se trouvent sur le cadre et les deux autres sont localisés ensuite par une translation contrôlée de la boîte
- chaque peigne à une longueur de 1000 mm et comporte 100 aiguilles espacées de 10 mm (Δx)
- chaque aiguille fait 200 mm de longueur
- on mesure la partie supérieure dépassant du cadre (Δz , en mm)

Dans chaque unité d'étalonnage choisie pour les mesures de rugosité, on a quatre répétitions qui sont distribuées aléatoirement. Chaque répétition a donc 400 mesures de hauteur, réparties sur 4 lignes de 100 mesures espacées de 150 mm. Les lignes de mesure sont placées perpendiculairement au sens de travail du sol.

4.1 Description du format

Chaque fichier comporte les données brutes de Δz organisées selon le format suivant:

- | | |
|---------------|---|
| -ligne 1 | Nom de l'unité |
| -ligne 2 | Date de mesure (JJ/MM/AA) |
| -ligne 3 | numéro de répétition |
| -ligne 4 | numéro de ligne (peigne) dans la répétition |
| -lignes 5:104 | données de Δz (en mm) avec le format suivant: |
| col 1 | numéro d'aiguille |
| col 2:5 | valeurs de Δz pour les peignes 1 à 4 de la première répétition |
| col 6:9 | valeurs de Δz pour les peignes 1 à 4 de la deuxième répétition |
| col 10:13 | valeurs de Δz pour les peignes 1 à 4 de la troisième répétition |
| col 14:17 | valeurs de Δz pour les peignes 1 à 4 de la quatrième répétition |
| -ligne 105 | valeur de RMSE (écart type) de Δz de la ligne (RMSE de 100 mesures) |
| -ligne 106 | valeur de RMSE de Δz de la répétition (RMSE de 400 mesures) |
| -ligne 107 | valeur de RMSE de l'unité (erreur moyenne quadratique des 4 répétitions) |

unit	U01															
date	24/10/00															
replicate	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4
line	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	70	63	66	76	58	77	89	88	86	84	80	88	65	56	66	70
2	74	66	74	76	87	75	90	90	90	94	83	86	63	58	72	80
3	70	66	79	76	93	100	85	75	84	98	90	87	65	70	76	81
4	58	61	74	72	80	95	87	85	87	90	92	80	70	60	76	83
5	60	54	76	70	74	86	86	94	95	90	98	76	62	56	80	84
6	69	55	83	71	72	82	83	81	90	96	94	75	70	70	84	86
7	63	57	76	68	72	87	77	80	102	104	100	82	70	74	78	82
8	63	52	110	90	64	70	76	80	104	106	103	90	81	78	102	90
9	56	63	98	90	59	67	60	75	95	98	96	92	89	78	98	96
10	53	71	96	70	60	76	71	72	98	102	98	98	100	106	96	92
...																
98	86	74	92	108	91	82	68	90	71	80	70	74	86	72	75	62
99	84	71	92	100	90	82	62	76	63	82	73	62	84	76	76	82
100	82	70	90	101	84	76	48	62	62	80	70	61	82	72	73	84
rmse_lin	12.7	13.7	9.7	12.5	15.2	13.7	16.6	14.2	11.7	15.2	14.5	13.5	15.7	11.3	12.8	9.5
rmse_rep	12.6	15.9	13.8	13.2												
RMSE unit	13.9															

5. Sources possibles d'erreur

- représentativité des mesures pour le calcul de la longueur de corrélation
- erreur de mesure ou de transcription de Δz

6. Références

- Beaudoin A., T. Le Toan et Q.H.J. Gwyn, 1990, SAR observations and modeling of the C-band backscatter variability due to multiscale geometry and soil moisture. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 28, no. 5, pp. 886-895
- Engman E.T. et J.R. Wang, 1987, Evaluating roughness models of radar backscatter. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 25, no. 6, pp. 709-713
- Oh Y., et Y. C. Kay, 1998, Condition for precise measurement of soil surface roughness. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 36, no. 2, pp. 691-695
- Ulaby F. T., R.K. Moore et A.K. Fung (1981-1986), *Microwave Remote Sensing - Active and Passive*, Addison-Wesley Publishing Company, 1981-82 vol I, II; Artech House, vol III, 1986

Soil Roughness

16/10/00

Petre Voicu, Cristina Radnea, Roxana Vintilă (rvi@icpa.ro)

Research Institute for Soil Science and Agrochemistry (ICPA) - Bucharest

1. Scope of the measurements

The roughness measurements are important for explaining the radiometric properties of the soils, mainly in the microwave domain. Two series of measurements will be conducted on the sampling units: the first one at the beginning of the phenological cycle, representative for the roughness at seedling, the second one after a significant rainfall, representative for the roughness throughout the “winter end – spring” period.

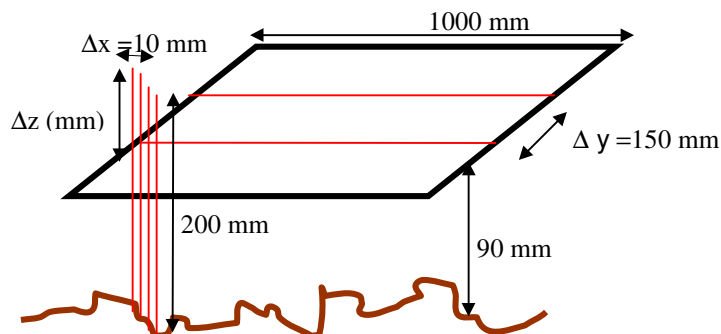
2. Method

The measurements will be made with a device called needle profiler.

2.1 The needle profiler and the measurements



Scheme of the needle profiler for soil roughness measurements



The characteristics of the device that will be used are the following:

- Box with a frame placed at 90 mm height above the reference plane
- Four profiles 150 mm (Δy) apart, two initially on the frame and the other two subsequently located by a controlled translation of the box
- Each profile is 1000 mm long and has 100 needles 10mm (Δx) apart
- Each needle is 200 mm long
- The needle upper part exceeding the frame will be measured (Δz , in mm)

2.2 Spatial sampling

Four replicates randomly distributed in each selected sampling unit will be considered.

Each replicate will have 400 height measurements, distributed in 4 profiles (lines) of 100 measurements 150 mm apart.

The profiles (lines) will be placed perpendicularly to the direction of ploughing.

3. Data format

3.1 Format description

The Δz data are stored in different files for each date and sampling unit.

Thus, each file contains rough data of Δz in accordance with the following format

```
-line 1      Unit name
-line 2      Measurement Date (DD/MM/YY)
-line 3      Replicate number
-line 4      Line number (profile) in the replicate
-lines 5:104  $\Delta z$  (in mm) data, with the format:
              col 1      needle number
              col 2:5     $\Delta z$  values for 1 to 4 profiles of the first replicate
              col 6:9     $\Delta z$  values for 1 to 4 profiles of the second replicate
              col 10:13   $\Delta z$  values for 1 to 4 profiles of the third replicate
              col 14:17   $\Delta z$  values for 1 to 4 profiles of the forth replicate
-line 105    RMSE of  $\Delta z$  values for the line (RMSE of 100 measurements)
-line 106    RMSE of  $\Delta z$  values for the replicate (RMSE of 400 measurements)
-line 107    RMSE of  $\Delta z$  values for the unit
```

3.2 File example

```
unit      U01
date      24/10/00
replicate 1
line      1  1  1  1  2  2  2  2  3  3  3  3  4  4  4  4
1         70 63 66 76 58 77 89 88 86 84 80 88 65 56 66 70
2         74 66 74 76 87 75 90 90 90 94 83 86 63 58 72 80
3         70 66 79 76 93 100 85 75 84 98 90 87 65 70 76 81
4         58 61 74 72 80 95 87 85 87 90 92 80 70 60 76 83
5         60 54 76 70 74 86 86 94 95 90 98 76 62 56 80 84
6         69 55 83 71 72 82 83 81 90 96 94 75 70 70 84 86
7         63 57 76 68 72 87 77 80 102 104 100 82 70 74 78 82
8         63 52 110 90 64 70 76 80 104 106 103 90 81 78 102 90
9         56 63 98 90 59 67 60 75 95 98 96 92 89 78 98 96
10        53 71 96 70 60 76 71 72 98 102 98 98 100 106 96 92
...
98        86 74 92 108 91 82 68 90 71 80 70 74 86 72 75 62
99        84 71 92 100 90 82 62 76 63 82 73 62 84 76 76 82
100       82 70 90 101 84 76 48 62 62 80 70 61 82 72 73 84
rmse_lin 12.7 13.7 9.7 12.5 15.2 13.7 16.6 14.2 11.7 15.2 14.5 13.5 15.7 11.3 12.8 9.5
rmse_rep 12.6 15.9 13.8 13.2
RMSE_unit 13.9
```

4. Possible sources of errors

- lack of measurement representativity for the estimation of the correlation length
- measurement errors
- transcription errors for Δz

5. References

- Beaudoin A., T. Le Toan et Q.H.J. Gwyn, 1990, SAR observations and modeling of the C-band backscatter variability due to multiscale geometry and soil moisture. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 28, no. 5, pp. 886-895
- Engman E.T. et J.R. Wang, 1987, Evaluating roughness models of radar backscatter. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 25, no. 6, pp. 709-713
- Oh Y., et Y. C. Kay, 1998, Condition for precise measurement of soil surface roughness. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 36, no. 2, pp. 691-695
- Ulaby F. T., R.K. Moore et A.K. Fung (1981-1986), *Microwave Remote Sensing - Active and Passive*, Addison-Wesley Publishing Company, 1981-82 vol I, II; Artech House, vol III, 1986