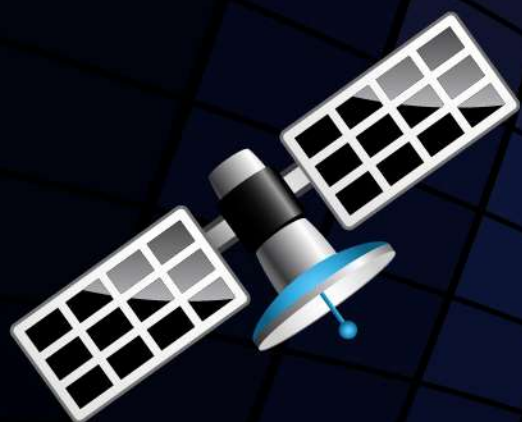


Badea Alexandru

Nistor-Lopatenco Livia

Vitalie Dilan



# Teledectie

## Curs universitar



European Commission

TEMPUS

# GIDDEC

Geographic Information technology for sustainable Development in Eastern neighbouring Countries

BADEA ALEXANDRU

NISTOR-LOPATENCO LIVIA

DILAN VITALIE

# TELEDETECTIE

## Curs universitar

CHIȘINĂU 2012

---

**CZU:**

Aprobată pentru editare de Senatul Universității de Stat din Tiraspol

**Autori:**

**Alexandru Badea**, Agenția Spațială Română (ROSA)

**Livia Nistor-Lopatenco**, Universitatea Tehnică a Moldovei

**Vitalie Dilan**, Universitatea de Stat din Tiraspol

**Recenzenți:**

**Vasile Grama**, dr. conf., Universitatea Tehnică a Moldovei

**Igor Codreanu**, dr. conf., Universitatea de Stat din Tiraspol

**Paginare computerizată:**

**Vitalie Dilan**

**Copertă:**

**Radu Jechiu**

Această ediție a fost realizată în cadrul proiectului TEMPUS 511322-2010-1-SE-TEMPUS-JPCR, «**Geographic information technology for sustainable development in Eastern neighbouring countries**» (GIDEC).

Acest proiect a fost finanțat cu sprijinul Comisiei Europene. Această publicație reflectă numai punctul de vedere al autorilor și Comisia nu este responsabilă pentru eventuala utilizare a informațiilor pe care le conține.

Descrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții:

Imprimat la **ARTPOLIGRAF S.R.L.**

**ISBN**

---

# CUPRINS

|                                                                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CUVÂNT ÎNAINTE .....</b>                                                                                                 | <b>5</b>  |
| <b>TEMA NR.1. DEFINIȚII ALE TELEDETECȚIEI, ISTORIC ȘI PERSPECTIVE,<br/>SPECTRUL ELECTROMAGNETIC.....</b>                    | <b>6</b>  |
| 1.1. DEFINIȚIE ȘI ISTORIC.....                                                                                              | 6         |
| 1.2. SPECTRUL ELECTROMAGNETIC ȘI ATMOSFERA .....                                                                            | 9         |
| 1.3. RADIAȚIA ELECTROMAGNETICĂ ÎN INTERACȚIUNE CU SUPRAFAȚA TERESTRĂ..                                                      | 20        |
| <b>TEMA NR. 2. SISTEMELE SATELITARE. LANȚUL DE ACHIZIȚIE,<br/>TRANSMISIE ȘI PREPROCESARE A DATELOR DE TELEDETECȚIE.....</b> | <b>23</b> |
| 2.1. VECTORII PURTĂTORI.....                                                                                                | 23        |
| 2.2. ORBITELE SATELIȚILOR .....                                                                                             | 23        |
| 2.3. MIJLOACELE DE TRANSMISIE LA SOL ȘI DE PREPROCESARE A DATELOR BRUTE...                                                  | 32        |
| <b>TEMA NR. 3. INSTRUMENTELE DE ACHIZIȚIE (CAPTORI, VECTORI,<br/>DETECTORI) .....</b>                                       | <b>37</b> |
| 3.1. GENERALITĂȚI .....                                                                                                     | 37        |
| 3.2. REZOLUȚIA ÎN TELEDETECȚIE.....                                                                                         | 38        |
| <b>TEMA NR. 4. ROLUL CULORILOR ÎN ANALIZA DATELOR DE<br/>TELEDETECȚIE. VIZUALIZAREA IMAGINILOR DE TELEDETECȚIE.....</b>     | <b>44</b> |
| 4.1. GENEZA CULORILOR ÎN NATURĂ .....                                                                                       | 46        |
| 4.2. EVALUAREA CULORILOR.....                                                                                               | 47        |
| 4.3. REPRODUCEREA CULORILOR.....                                                                                            | 48        |
| 4.4. ALTE NOȚIUNI PRIVIND CULORILE UTILIZATE ÎN PRACTICA PROCESĂRII DE<br>IMAGINI.....                                      | 50        |
| 4.5. ROLUL FILTRELOR ÎN TELEDETECȚIE .....                                                                                  | 51        |
| <b>TEMA NR. 5. RAMURI ALE TELEDETECȚIEI GEOSPAȚIALE CU UTILIZARE<br/>TEMATICĂ. PROCESAREA ȘI ANALIZA IMAGINILOR.....</b>    | <b>53</b> |
| 5.1. RAMURILE TELEDETECȚIEI.....                                                                                            | 53        |
| 5.2. PROCESAREA ȘI ANALIZA IMAGINILOR .....                                                                                 | 62        |
| 5.3. CARACTERISTICILE IMAGINILOR DIGITALE DE TELEDETECȚIE.....                                                              | 68        |
| 5.4. OPERAȚIUNI PREGĂTITOARE EFECTUATE ASUPRA IMAGINILOR<br>DE TELEDETECȚIE.....                                            | 69        |



|                                                                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.5. ANALIZA IMAGINILOR.....                                                                                 | 71         |
| 5.6. CLASIFICAREA .....                                                                                      | 75         |
| <b>TEMA NR. 6. NOȚIUNI PRIVIND INTERPRETAREA IMAGINILOR .....</b>                                            | <b>87</b>  |
| 6.1. ANALIZA ȘI INTERPRETAREA.....                                                                           | 87         |
| 6.2. RECOMANDĂRI PRIVIND INTERPRETAREA PROFESIONALĂ A IMAGINILOR<br>SATELITARE.....                          | 89         |
| 6.3. CARACTERISTICI EXPLOATATE PENTRU EVALUAREA IMAGINILOR SATELITARE.                                       | 90         |
| 6.4. ANALIZA PEISAJULUI.....                                                                                 | 93         |
| 6.5. FOTOINTERPRETAREA IMAGINILOR.....                                                                       | 93         |
| 6.6 ANALIZA MULTIVARIATĂ A DATELOR DE TELEDETECȚIE.....                                                      | 96         |
| <b>TEMA NR. 7. PROGRAME DE TELEDETECȚIE PE TERMEN LUNG :<br/>SATELIȚII DIN SERIILE LANDSAT ȘI SPOT .....</b> | <b>101</b> |
| 7.1. SATELIȚII DIN SERIA LANDSAT.....                                                                        | 101        |
| 7.2. PROGRAMUL SPOT .....                                                                                    | 106        |
| <b>TEMA NR. 8. PROGRAMELE NOAA ȘI METEOSAT.....</b>                                                          | <b>124</b> |
| 8.1. PROGRAMUL NOAA .....                                                                                    | 124        |
| 8.2. PROGRAMUL METEOSAT .....                                                                                | 125        |
| <b>TEMA NR. 9. SATELIȚI RADAR .....</b>                                                                      | <b>127</b> |
| 9.1. PROGRAMUL EUROPEAN ERS .....                                                                            | 127        |
| 9.2. PROGRAMUL ENVISAT .....                                                                                 | 128        |
| <b>TEMA NR. 10. ELEMENTE SPECIFICE ELABORĂRII UNUI STUDIU BAZAT<br/>PE DATE DE TELEDETECȚIE.....</b>         | <b>132</b> |
| 10.1.COLECTAREA MATERIALELOR DE ARHIVĂ (HĂRȚI, MONOGRAFII, IMAGINI),<br>VIZITE LA TEREN .....                | 132        |
| 10.2. DESCRIEREA FIZICO-GEOGRAFICĂ A SUPRAFEȚEI STUDIAȚE .....                                               | 132        |
| 10.3. ANALIZA IMAGINII (IMAGINILOR).....                                                                     | 132        |
| 10.4. VALIDAREA ȘI CONFRUNTAREA LA TEREN.....                                                                | 133        |
| 10.5. ELABORAREA DOCUMENTELOR GRAFICE .....                                                                  | 133        |
| 10.6. ELABORAREA RAPORTULUI TEXT (MEMORIUL TEHNIC).....                                                      | 134        |
| 10.7. RECAPITULAREA UNOR NOȚIUNI DE BAZĂ ÎN TELEDETECȚIE .....                                               | 134        |
| <b>TEMA NR. 11. DOMENII DE APLICARE A TELEDETECȚIEI.....</b>                                                 | <b>136</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIE.....</b>                                                                                     | <b>138</b> |

## CUVÂNT ÎNAINTE

Textul și ilustrațiile acestui ciclu de prelegeri se adresează studenților Universității Tehnice a Moldovei și Universității de Stat din Tiraspol, întreg conținutul lucrării, rod al acumulării unei experiențe practice îndelungate recunoscute în domeniu, fiind orientat către înțelegerea mecanismelor și proceselor esențiale care asigură însușirea unor noțiuni de bază necesare pentru o utilizare corectă a mijloacelor tehnice pe care le oferă teledetecția.

Pentru a putea practica teledetecția nu este suficient să dispunem de un calculator echipat cu un program specializat de procesare de imagini pe care orice utilizator poate să învețe să îl manipuleze cu ajutorul meniurilor din ce în ce mai sofisticate. Este nevoie, în primul rând, de cunoașterea mediului natural care constituie obiectul investigației științifice satelitare. Așa cum, încă din anul 1985, unul dintre pionierii teledetecției aplicate, francezul P. Foin, enunța axioma conform căreia nu este o întâmplare faptul că TELEDETECȚIA și ECOLOGIA au apărut și s-au dezvoltat în paralel, lucrarea de față încercă să descrie în mod simplificat principiile de bază ale utilizării imageriei satelitare. Aceste principii trebuie să fie considerate și acceptate pentru a putea utiliza în cunoștință de cauză algoritmi specifici procesării de imagini, etapă a prelucrării informației care are ca scop principal cartografierea tematică a suprafeței terestre.

Instrumentele de procesare permit identificarea unor trăsături ale obiectelor și fenomenelor pe care simțul văzului nu le putea distinge prin mijloace analogice, însă, până la utilizarea profesională a acestor instrumente informatice, este necesară educarea ochiului și a intelectului pentru a putea observa corect și util forma, culoarea și textura. De fapt, trebuie să învățăm să „citim” o imagine în conformitate cu metodele complexe de procesare elaborate și verificate în timp.

De la înregistrarea imaginii (în faza de observare) până la interpretarea acesteia (în faza de prelucrare) se folosesc atât deprinderi bazate pe raționalul argumentat științific cât și pe abordări intuitive, acestea din urmă uneori empirice, prin care creierul uman stabilește legături între caracteristicile obiectelor/fenomenelor din natură și rolul sau efectele acestora asupra evoluției societății umane.

În mod intenționat, în paginile ce urmează, nu se fac referiri detaliate la sateliții și programele satelitare relativ recent apărute, dar se insistă pe cunoașterea mai detaliată a programelor satelitare LANDSAT și SPOT care reprezintă, fără dubii, axa temporală a dezvoltării spectaculoase a tehnologiilor specifice teledetecției.

**Autorii**

## TEMA NR.1. DEFINIȚII ALE TELEDETEȚIEI, ISTORIC ȘI PERSPECTIVE, SPECTRUL ELECTROMAGNETIC

### 1.1. Definiție și istoric

Ca urmare a rezoluțiilor adoptate în anul 2002 la Forumul Mondial pentru Dezvoltare Durabilă (World Summit on Sustainable Development) de la Johannesburg, dar și ca rezultat al acordului inter-agenții al Organizației Națiunilor Unite, la începutul anului 2003, a fost aprobat și publicat un document sinteză cu titlul ***Soluții spațiale pentru problemele Lumii*** (*Space Solutions for the World's Problems*) al cărui text cu titlul ***Principii privind teledeteția Pământului din spațiul extraatmosferic*** (*Principles Relating to Remote Sensing of the Earth from Outer Space*) se referă explicit la reglementarea activităților din domeniul teledeteției. Astfel, au fost enunțate o serie de principii fundamentale referitoare la domeniul observării Terrei. Primul principiu are următorul conținut:

- termenul ***“deteție de la distanță”*** înseamnă studierea suprafeței Pământului, din spațiu, utilizând proprietățile undelor electromagnetice emise, reflectate sau difractate de către obiectele studiate, în scopul îmbunătățirii managementului resurselor naturale, utilizării solului și protejării mediului;
- termenul ***“date primare”*** se refera la acele date neprelucrate, achiziționate de senzori plasați pe aparatul din spațiu, care sunt transmise la sol, din spațiu prin telemetrie, sub forma de semnale electromagnetice, filme fotografice, benzi magnetice sau alte mijloace;
- termenul de ***“date procesate”*** se refera la datele obținute în urma procesării datelor primare, procesări necesare pentru a le face utilizabile;
- termenul de ***“informații analizate”*** face referire la informația rezultată din interpretarea datelor procesate, a datelor de intrare și a cunoștințelor din alte surse;
- termenul de ***“activități de deteție de la distanță”*** se referă la operațiunile efectuate de sistemele spațiale de deteție, colectarea de date primare și stocarea, interpretarea și diseminarea datelor procesate.

În cele ce urmează ne vom concentra atenția pe explicarea unor elemente de bază fără de care nu este posibilă înțelegerea mecanismelor de prelucrare corectă a datelor primare provenite de la sateliții de observare a Pământului. De fapt, utilizarea teledeteției a devenit, în timp, o obișnuință și nu mai este considerată o tehnologie nouă. Aplicarea tehnicilor de teledeteție în domeniul înțelegerii și cunoașterii resurselor planetei este acceptă, în prezent, de comunitățile științifice și guvernamentale drept instrument tehnologic avansat perfect adaptat obținerii de informații variate care pot fi prelucrate cu mare eficiență pentru a alimenta cu date obiective sistemele informaționale tematice.

Nașterea teledeteției satelitare se situează în anii '60, odată cu lansarea primelor platforme cu destinație meteorologică. După 1972 progresul tehnologic a permis plasarea pe orbită a primilor sateliți cu destinație civilă pentru monitorizarea resurselor naturale, dar numai după 1980 se poate spune că acest domeniu de activitate a devenit operațional. Treptat, tehnicile de captare a semnalului, mult îmbunătățite din punct de vedere optic și electronic, au permis

atingerea unor rezoluții altădată accesibile doar sectorului militar, dar și dezvoltarea unor algoritmi sofisticăți de exploatare a informațiilor provenite de la sateliți, a căror utilizare eficientă corectă rămâne, din nefericire, la îndemâna profesioniștilor inițiați.

Trebuie înțeles faptul că, pentru a deveni specialist în teledetecție, nu este de ajuns să ai posibilitatea să achiziționezi imagini satelitare și un sistem de prelucrare a imaginilor. Pentru a putea prelucra corect și eficient datele respective este nevoie de un background educațional consistent, atât în domeniul geo-științelor (științelor geonomice) cât și în ceea ce privește bazele fizice ale teledetecției, tehnicile de preluare, preprocesare și procesare tematică a datelor imagine.

În sens larg, teledetecția (en.*remote sensing*, fr.*téledétection*, ge. *Fernerkundung*) este **ansamblul de mijloace care permit înregistrarea de la distanță a informațiilor asupra suprafeței terestre**. O definiție sintetică a teledetecției a fost formulată de Colwell (1983) : "achiziția de date despre un obiect sau un grup de obiecte cu ajutorul unui senzor situat la distanță de acestea". O altă definiție a teledetecției, de această dată mai detaliată, s-ar putea enunța astfel : **Teledetecția este o tehnică modernă de investigare care permite detectarea de la distanță a variațiilor de absorbție, reflexie și de emisie caracteristice undelor electromagnetice și stocarea semnalelor sub forma de fotografii, de înregistrări (care pot constitui imagini), sau de profile spectrale**.

Fiecare din definițiile reproduse mai sus a fost enunțată de specialiști aparținând unor domenii de activitate particulare (construcții aerospațiale, fizică). Din punct de vedere al geografului definiția ar putea fi formulată astfel: **Ansamblu de cunoștințe și tehnici utilizate pentru determinarea caracteristicilor fizice și biologice ale suprafeței terestre prin măsurători efectuate de la distanță fără a intra în contact material cu acestea**.

Observarea suprafeței terestre din spațiu facilitează cunoașterea obiectelor naturale și antropice care o constituie oferind posibilitatea îmbunătățirii înțelegerii relațiilor dintre acestea, față de posibilitățile limitate pe care le oferă studiile clasice care se desfășoară în mare parte pe teren (in situ). Problematika teledetecției se rezumă la studiul fenomenelor urmărindu-se analiza acestora în funcție de:

- **natura, specificitatea și caracteristicile lor;**
- **durata acestora cu ordin de mărime diferențiat de natura fenomenelor derulate (ore, luni, ani, decenii..) sau, generalizând, se pot lua în considerare elemente temporale (trecutul, mai mult sau mai puțin cunoscut, prezentul studiat, viitorul prognosticat)**
- **spațiul geografic definit de:**
  - *dimensiunile laterale x,y referitoare la un plan sau o suprafață,*
  - *dimensiunea verticală (altitudine, înălțime, profunzime, grosime),*
  - *relațiile dintre obiecte*

Din punct de vedere conceptual, datele provenind de la sistemele de observare a planetei permit, ordonarea spațial-temporală a obiectelor și fenomenelor, evoluția lor fiind tratată diferențiat:



- pentru trecut : este posibilă arhivarea evoluției istorice a mediului și constituirea de baze de date referitoare la resurse (pentru realizarea studiului tendințelor),
- în prezent : este posibilă monitorizarea și analiza schimbărilor survenite (funcția de evaluare a stării actuale),
- pentru viitor: se simulează situația posibilă a mediului și se estimează disponibilul de resurse (funcția de prevenire și planificare).

Folosirea imaginilor provenite de la sateliții de observare a Pământului țin cont de caracteristicile proprii fiecărui satelit utilizat, mai precis de cei trei parametri fundamentali:

- **rezoluția spațială,**
- **rezoluția spectrală,**
- **repetitivitatea spațio-temporală (rezoluție temporală).**

Acești parametri sunt exploatați corect în condițiile asigurării fidelității culegerii informației cu ajutorul unor sisteme electronice capabile să codifice cu acuratețe informația radiometrică. Altfel spus, sistemele de teledetecție pot fi evaluate și prin modul de cuantificare a valorilor de reflectanță : 256 (8 biți) sau 1024 (12 biți) de nivele de gri, ș.a.m.d. Se acceptă faptul că această caracteristică este denumită **rezoluție radiometrică**.

Sateliții de foarte înaltă rezoluție beneficiază de dispozitive de orientare a sistemelor de preluare a imaginilor care permit schimbarea poziției acestora față de direcția de zbor (lateral, sau înainte-înapoi) cu scopul preluării scenelor prevăzute în sarcina de achiziție. Această caracteristică este denumită **agilitate** și reprezintă intervalul de timp de care are nevoie satelitul pentru a schimba poziția pe orbită după achiziția completă a unei scene până în momentul începerii preluării unei noi imagini.

Obligatoriu, orice analiză multi-tematică este realizată ținând cont de caracteristicile senzorilor sateliților de la care provin datele la care analistul are acces. Lista acestor sateliți este diversificată și imposibil de analizat în cadrul unui curs cu durată limitată. Totuși, încercăm să amintim o serie de programe care furnizează periodic date interesante și utile pentru cunoașterea și gestionarea spațiului și ale căror sateliți au o importanță recunoscută pentru teledetecția civilă: LANDSAT TM, SPOT, ERS, NOAA-AVHRR, METEOSAT, RADARSAT, IRS, IKONOS, KOMPSAT, FORMOSAT, ALOS, TerraSAR-X, DMC, ENVISAT, RAPIDEYE, WorldView, Pleiades, listă nefiind închisă.

Perfecționarea tehnologiilor a permis ca în ultimii ani să se dezvolte o nouă generație de sateliți care permit și țărilor cu resurse limitate să opereze sisteme satelitare de observare a Terrei datorită costurilor mai reduse și a adaptabilității pentru aplicații particulare. Este vorba de sistemele de sateliți de talie mică care oferă oportunități pentru expansiunea mai rapidă a cunoștințelor tehnice în domenii tematice mult mai variate. Poate fi amintita aici seria de sateliți DMC (Disaster Monitoring Constellation) produsă în Marea Britanie la Surrey constelație care servește nevoile interne ale unor țări ca Algeria (ALSAT), Turcia (BilSAT sau Nigeria (NigeriaSAT), iar începând cu a doua generație și ale unor țări cu potențial spațial avansat ca Spania (Deimos-1) sau China (Beijing-1). Evident că și Marea Britanie are pe orbită sateliți UK-DMC(din prima generație) și UK-DMC 2 (din cea de a doua generație). Orbitale heliosincrone

ale acestor sateliți sunt situate în planuri diferite și sunt coordonate în așa fel încât intersectează Ecuatorul la aceeași oră locală.

## 1.2. Spectrul electromagnetic și atmosfera

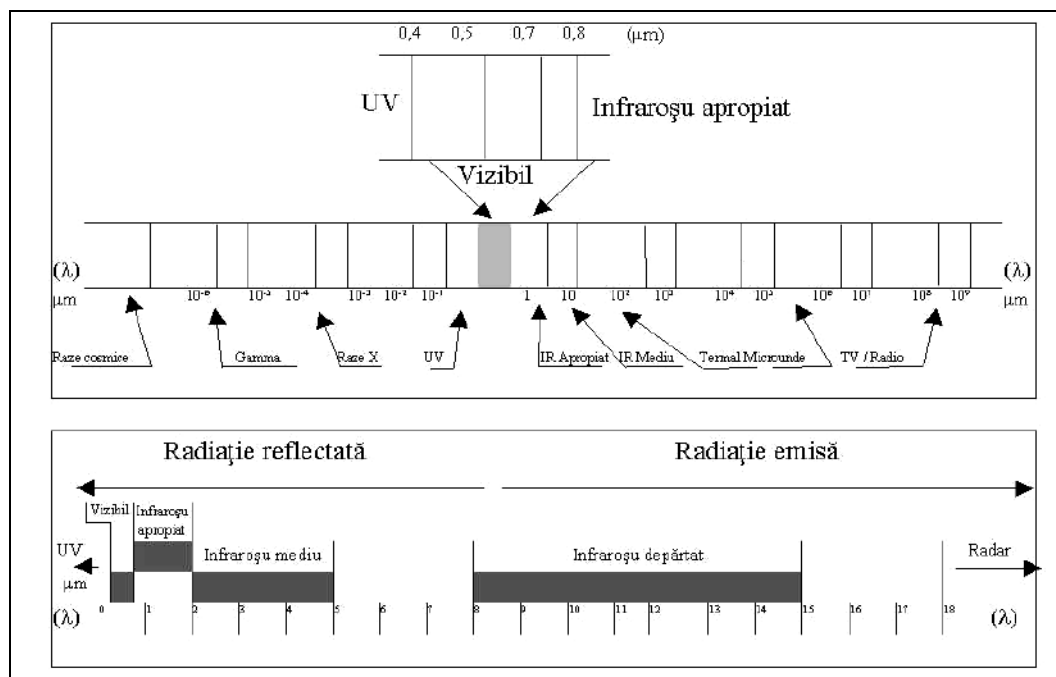
### 1.2.1 Spectrul electromagnetic

Mărimea cea mai des măsurată de sistemele de teledetecție actuale este energia electromagnetică emanată sau reflectată de obiectul studiat. Aceasta pentru că elementele constitutive ale scoarței terestre (rocile, solurile), vegetația, apa, cât și obiectele care le acoperă au proprietatea de a absorbi, reflecta sau de a emite energie. Cantitatea de energie depinde de caracteristicile radiației (lungimea de undă și intensitatea acesteia), de proprietatea de absorbție a obiectelor și de orientarea acestor obiecte față de soare sau față de sursa de radiație.

Toate obiectele din natură, cu condiția ca temperatura lor să fie superioară lui zero absolut ( $0\text{ }^{\circ}\text{K} - 273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), emit o cantitate specifică de radiație electromagnetică din care, o parte, poate fi percepută de instrumente specializate.

O undă electromagnetică este caracterizată prin lungimea de undă (sau frecvență), polarizare și energia sa specifică. Independent de aceste caracteristici, toate undele electromagnetice sunt de natura esențial identică.

Particularitățile diferitelor domenii ale spectrului au condus la clasificarea în unde radio, hiperfrecvențe, infraroșu, vizibil, ultraviolet, raze X și raze gamma (Fig. 1). În teledetecție se utilizează, însă, numai o porțiune a spectrului electromagnetic (de la microunde până la ultraviolet). Fiecare domeniu este observat cu ajutorul unor captori/senzori adecvați în funcție de natura obiectelor și fenomenelor supuse cercetării.



**Fig. 1 Spectrul electromagnetic general (sus) și spectrul electromagnetic utilizat în teledetecția tehnologică (jos)**

Toate categoriile de obiecte de la suprafața Terrei au proprietatea de absorbi o parte a radiației electromagnetice, în funcție de aceasta fiind definită semnătura spectrală a obiectului

respectiv. Pe baza cunoștințelor referitoare la categoriile de radiații cu lungimi de undă absorbite și reflectate este posibilă analiza și interpretarea imaginilor de teledetecție. Elementele care stau la baza acestor analize sunt următoarele:

- lungimea de undă;
- intensitatea radiației incidente;
- caracteristicile obiectelor și elementelor (în particular caracteristici de absorbție) ;
- orientarea acestor obiecte și elemente în raport cu poziția soarelui sau a sursei de iluminare.

O diagramă sugestivă privind domeniile spectrului electromagnetic întâlnite în activitățile curente ale omului are forma din figura următoare:

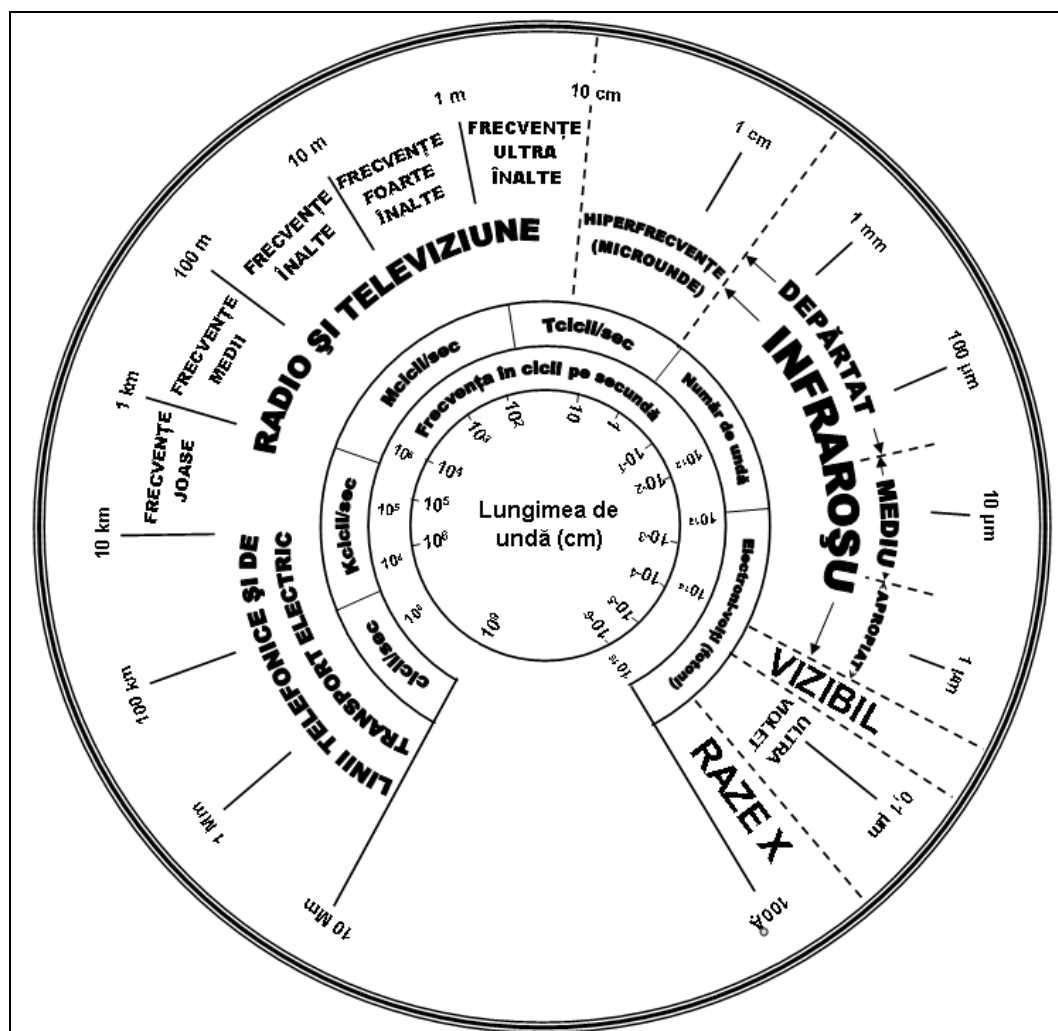


Fig. 2 Domeniile spectrului electromagnetic

Teledetecția aerospațială se bazează pe înregistrarea radiației electromagnetice cu ajutorul senzorilor special concepuți în acest scop, utilizând radiația luminii, de la ultraviolet la microunde, folosind ca formă de stocare a datelor imagini numerice sau analogice. Acest spectru nu este disponibil în totalitate, atmosfera acționând ca un filtru de absorbție și de

difuzie, rămânând la dispoziție câteva ferestre de transparență. Acestea sunt zonele spectrale utilizate pentru teledetecție, senzorii instrumentelor de captare a semnalului fiind calate în aceste lungimi de undă (fig.1).

Efectele atmosferei asupra înregistrărilor aeropurtate și spațiale asupra pământului pot fi grupate în patru categorii principale: difuzie, absorbție, refracție și turbulență. Dintre acestea difuzia constituie efectul dominant în marea majoritate a situațiilor. În orice caz, pentru o înțelegere corectă a mijloacelor pe care teledetecția le pune la dispoziția operatorilor, trebuie să fie cunoscute în mod corect efectele interacțiunii radiației electromagnetice în atmosferă și rolul acesteia, ținându-se seama de natura fenomenelor și obiectelor urmărite.

În practică, analiza acestui subiect trebuie să se facă în mod diferențiat, de la simple aprecieri calitative ale filtrului atmosferic până la modele fizico-matematice complexe, sofisticate: luând în considerare numai veriga respectiva (filtrul atmosferic) sau considerând ansamblul factorilor naturali perturbatori cu conexiunile și interdependențele dintre aceștia.

Importanța reală a efectelor factorilor perturbatori asupra procesului de teledetecție depinde de natura senzorilor utilizați și de rezultatele urmărite. Ca atare, au fost evidențiate în acest capitol conceptele de baza ale efectelor atmosferice, ionosferice și ale apei. Fiind greu de abordat într-o formă comprimată, am considerat necesar ca tehnicile de măsurare și instrumentația adecvată, precum și metodologia sau tehnologia de calibrare a acestor filtre perturbatoare să fie prezentate în mod sumar în această lucrare.

### **1.2.2. Corpul negru, Soarele, Pământul, surse de radiație**

Corpul negru este un iradiator perfect care emite toată energia absorbită. În echilibru termodinamic radiația emisă de corpul negru este verificată de legea lui Planck:

$$B(\lambda, T) = C_1 \lambda^{-5} [e^{C_2/\lambda T} - 1]^{-1} \text{ W m}^{-2} \text{ sterad}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$$

în care:

$B(\lambda, T)$  - reprezintă puterea radioactivă emisă de banda spectrală unitară cu lungime de unda  $\lambda$  pe unitatea de suprafață a corpului negru la temperatura absolută  $T$  °K

$C_1, C_2$  reprezintă constante care se exprimă în funcție de constanta lui Planck și de constanta lui Boltzmann ( $C_1 = 3,74 \cdot 10^4 \text{ W } \mu\text{m}^4 \cdot \text{cm}^{-2}$ , respectiv  $C_2 = 1,438 \text{ cm } ^\circ\text{K}$ )

Pentru temperaturi mai mari de 200°K și frecvențe mai mari de 100Hz ( $\lambda = 3 \text{ mm}$ ) se poate utiliza aproximația Rayleigh-Jeans:

$$B(\lambda, T) = 2KT/\lambda^4 \cdot \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sterad}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$$

Se demonstrează astfel că există o relație liniară între intensitatea radiației și temperatura absolută pentru o lungime de undă cunoscută.

Radiația solară constituie, incontestabil, sursa de energie cea mai importantă pentru măsurare în teledetecție. Radiația pe care o emite Soarele corespunde aproximativ cu cea a corpului negru ( $5900^{\circ}\text{K}$  -  $6000^{\circ}\text{K}$ ), dar numeroase fenomene specifice mediilor străbătute de undă (prezența apei sub diferite forme de agregare, atmosfera, ionosfera) modifică în detaliu curba radiației spectrale. Așa cum se poate observa în (Fig.4), trebuie remarcat faptul că, la limita superioară a atmosferei, radiația solară are valori de circa  $0,135 \text{ W} / \text{cm}^2$ .

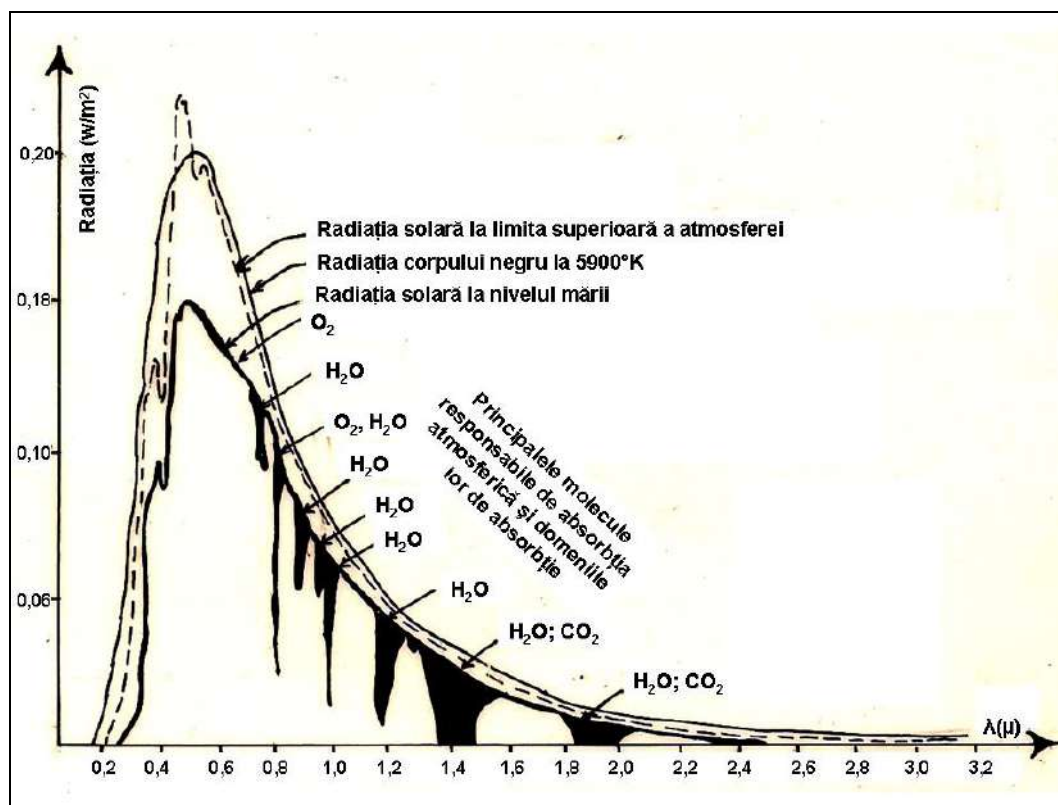


Fig. 3 Radiția solară și interacțiunea sa cu atmosfera

Ca și Soarele, Pământul, cu toate că are o temperatură mult mai scăzută, constituie un emițător de radiație electromagnetică, spectrul acestuia fiind situat în infraroșul mediu și depărtat (Fig.4).

În afară de sursele naturale de radiație electromagnetică, în practică se folosesc și surse artificiale, create de om denumite surse radiometrice. Acestea au o importanță foarte mare în teledetecție deoarece constituie baza sistemelor active de captori/senzori (emițătoare dar și receptoare de radiație electromagnetică). Este cazul radar-ului care generează radiația, iar apoi înregistrează mișcările și modificările survenite în structura semnalului după ce radiația a interacționat cu mediul.

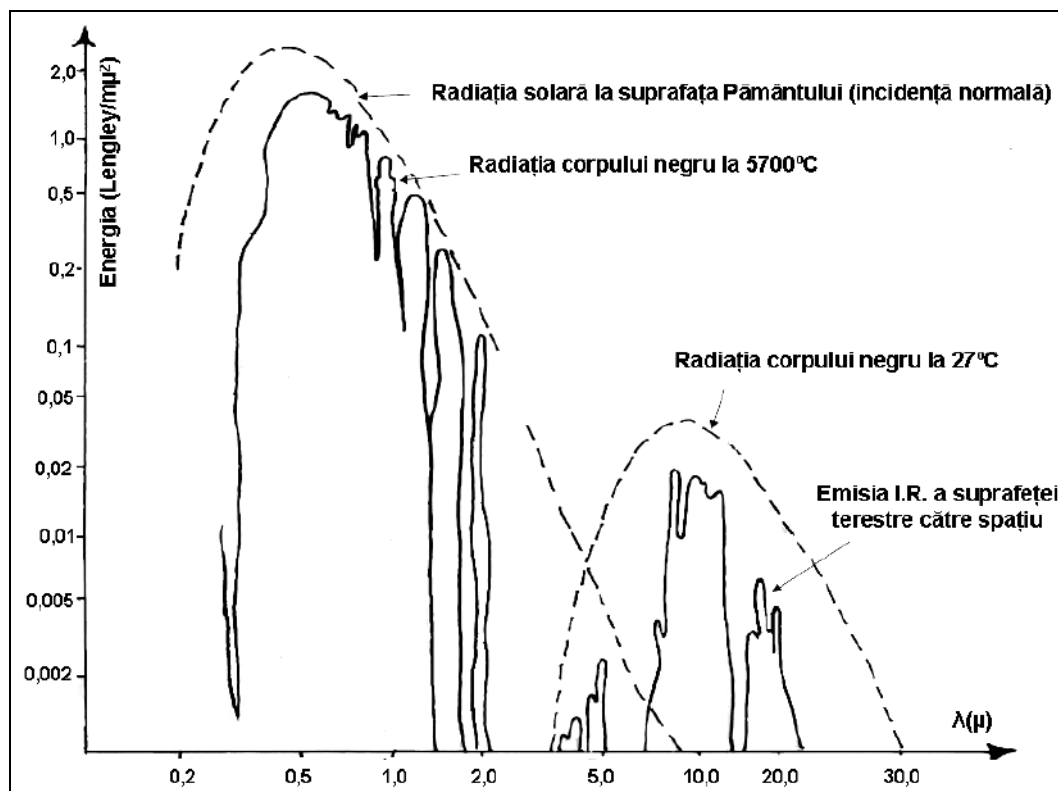


Fig. 4 Spectrele radiației solare și terestre

### 1.2.3. Factori limitativi în teledetecție

După câteva decenii de evoluție spectaculoasă, teledetecția pare, încă a fi o tehnică extrem de generală, dezvoltarea sa, precum și principalele sale aplicații plasând-o lângă celelalte științe și tehnici aplicative de avangarda apărute în secolul trecut. Trebuie însă păstrate precauțiile necesare, deoarece există limitări fizice dar și restricții de aplicare (acestea din urmă din ce în ce mai mici) ale acestei tehnologii.

Limitările fizice sunt legate esențial de fenomenele fizice susceptibile de transferul informației de la obiect la captor. În acest sens, sunt luate în considerare în cadrul procesului de teledetecție:

- radiațiile electromagnetice,
- câmpurile de forță electrice, magnetice și câmpul gravitațional,
- vibrațiile acustice,
- vibrațiile mecanice,
- particule perturbatoare

### 1.2.4. Atmosfera - mediu perturbator

La traversarea atmosferei, radiația solară este supusă unor perturbații care depind de lungimea de undă proprie. Aceste perturbații sunt datorate absorbției și emisiei mediului precum și difuziei, difracției sau refracției atmosferice (Fig. 5).



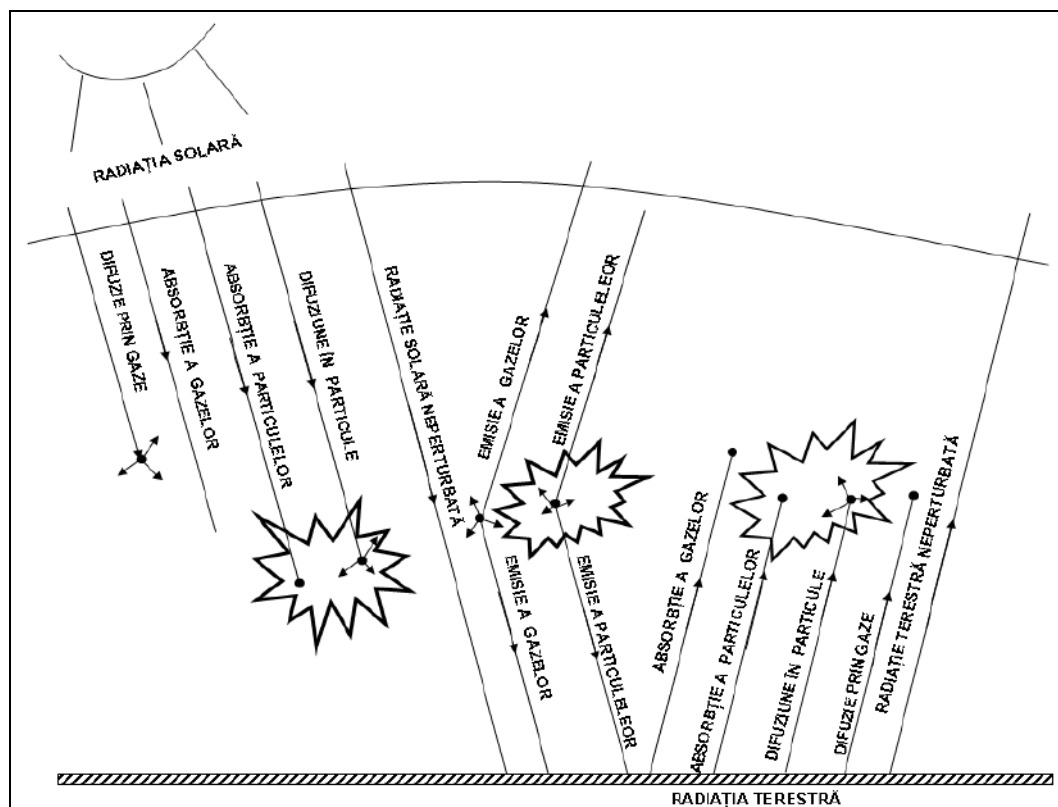


Fig. 5 Perturbații atmosferice

În consecință, o mică parte a radiației solare este penetranta prin atmosfera și aceasta în porțiuni bine definite ale spectrului electromagnetic. În literatura de specialitate aceste porțiuni sunt întâlnite sub numele de “ferestre de transmisie ale atmosferei” (Fig.6).

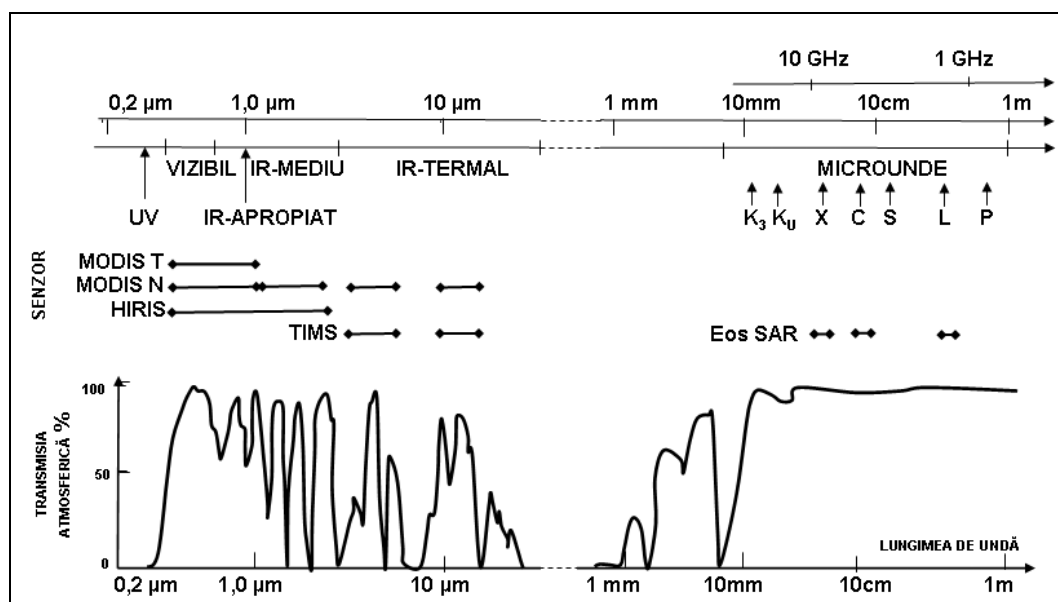


Fig. 6 Transmisia atmosferică

După cum se poate observa, atmosfera este opacă începând cu cele mai scurte lungimi de undă corespunzătoare razelor gamma și X pana la circa  $0,35 \mu$  (ultraviolet foarte apropiat de

vizibil). Pornind de la  $0,4 \mu$  atmosfera prezintă “ferestrele” de transmisie amintite mai sus, înainte de a deveni opacă între  $14 \mu$  și  $1 \text{ mm}$ . În fine, învelișul atmosferic devine penetrabil de la  $1 \text{ mm}$  la  $5 \text{ cm}$  lungime de undă pentru a ajunge total penetrabilă pentru toate lungimile de undă mai mari. Trebuie amintit ca ionosfera introduce limitări suplimentare pe care le vom aminti într-un paragraf următor.

Transparența spectrală a aerului, este, de asemenea, o caracteristică care trebuie cunoscută în procesul de înregistrare a imaginilor. Coeficientul de transparență variază după sezon și în funcție de diferitele lungimi de undă. Vara, coeficientul de transparență scade semnificativ în vizibil, pentru infraroșu variațiile fiind mult mai mici. Totuși, poate să apară o mărire a luminozității generale datorită difuzei luminii în atmosferă. Valoarea vălului atmosferic depinde de grosimea optică a atmosferei, de distanță zenitală a soarelui și de direcția de vizare, de capacitatea de reflexie a peisajului aerian, precum și de forma sub care se manifestă difuzia în atmosferă.

Principalele mijloace pentru înlăturarea sau slăbirea efectului voalului atmosferic asupra înregistrării, sunt dispozitivele optice suplimentare atașate captorului, numite filtre. Acestea sunt poziționate în fața instrumentului optic instalat pe platforma satelitară. Un al doilea mijloc de compensare a efectelor atmosferice este alegerea judicioasă a benzilor spectrale. Principala sarcină a filtrelor de culoare este aceea de a absorbi razele de lumina, reflectate și difuzate de către atmosferă. Datorită faptului că radiațiile electromagnetice corespunzătoare domeniului albastru, violet și, în parte, ultraviolet, nu iau parte la formarea imaginii din cauza reflexiei și difuzării lor de către atmosfera este necesară utilizarea filtrelor optice compensatoare colorate sau a detectorilor adecvați.

Între dispozitivul captor și Pământ se află, întotdeauna, o pătură groasă de aer care nu este niciodată complet transparentă. Aceasta este alterată într-un anumit grad de prezența anumitor particule, fie solide fie produse prin condensarea vaporilor de apă, care provoacă difuzarea luminii în atmosferă afectând claritatea aerului. Mediul acesta tulbure imprimă și obiectului de fotografiat aceeași caracteristică, adică reduce contrastul detaliilor obiectului de fotografiat. Acest mediu alterat poartă numele de vâl atmosferic și are drept cauză prezența în atmosferă a diferitelor particule străine. Corpurile străine din atmosfera provoacă difuzarea razelor de lumină în mediul înconjurător.

Difuzia luminii în atmosfera are două surse principale:

- când aerul are relativ puține impurități și lumina solara este difuzată în special de către moleculele de gaze, predominând radiația albastră ;
- când aerul conține multe impurități (praf, fum, ș.a.), iar razele corespunzătoare diferitelor zone ale spectrului sunt reflectate și difuzate disproporționat.

#### *1.2.4.1. Absorbția atmosferică*

Absorbția este cauzată de tranziția electronică a atomilor și moleculelor, cât și de tranziția de rotație sau de vibrația moleculară poliatomică.

Principalele gaze absorbante din atmosferă sunt oxigenul molecular ( $O_2$ ), oxigenul atomic (O), ozonul ( $O_3$ ) - în straturile superioare ale atmosferei -, vaporii de apă și picăturile ( $H_2O$ ), bioxidul de carbon ( $CO_2$ ), azotul molecular ( $N_2$ ), oxidul de carbon (NO), metanul ( $CH_4$ ), oxidul de azot (N) cât și omologii izotopici ai acestora.

Spectrele de absorbție cauzate de tranzițiile electronice se situează în principal în ultraviolet, iar cele generate de rotațiile și vibrațiile moleculare se plasează în infraroșu. Spre deosebire de acestea, domeniul vizibil este afectat în mică măsură de absorbție. Se remarcă faptul că toate aceste spectre de absorbție sunt spectre de bandă cu o structură fină foarte complexă.

Absorbția radiației electromagnetice monocromatică de intensitate  $I_0$  urmează legea:

$$I = I_0 e^{-kx}$$

în care:

x este lungimea traseului absorbant

k este un coeficient de absorbție

Coeficienții de absorbție corespunzători lungimilor de undă ale tranzițiilor electronice au valori foarte mari deci, se demonstrează faptul că în atmosfera foarte înaltă radiația solară este absorbită intens. În consecință, energia absorbită se consumă prin contribuția pe care o aduce la disocierea ozonului, azotului molecular, azotului, oxigenului molecular în azot și oxigen atomic (N și O) care absorb încă energie dar în alte lungimi de undă.

În ultraviolet absorbția electronică foarte ridicată a oxigenului și azotului molecular, dublată de absorbția oxigenului și azotului atomic sau ozonului (pentru atmosfera foarte înaltă) au drept consecință imediată opacitatea pentru lungimile de undă inferioare valorii de  $0,3\mu$ . Se mai poate reaminti faptul că, din punct de vedere cantitativ, ozonul variază în cantitate cu anotimpul (maxim primăvara) cât și cu latitudinea. De fapt, în vizibil se constată o slabă absorbție datorată ozonului la  $0,6\mu$  și oxigenului molecular la  $0,69$  și  $0,76\mu$ .

Intervalele de absorbție în infraroșu sunt generate de tranzițiile de rotație și de vibrațiile moleculare poliatomice. Se remarcă în acest domeniu spectral importanța absorbției vaporilor de apă ale căror benzi principale sunt situate la:  $0,7$ ;  $0,8$ ;  $0,9$ ;  $1,1$ ;  $1,4$ ;  $1,9$ ;  $2,7$ ;  $3,2$  și  $6,3\mu$ . Pentru bioxidul de carbon benzile principale de absorbție sunt situate la  $1,6$ ;  $2,7$ ; și  $4,3\mu$ .

Începând de la  $14\mu$  până la circa  $1\text{ mm}$  lungime de undă, propagarea este împiedicată în totalitate de vaporii de apă în corelație cu o bandă de absorbție foarte puternică a bioxidului de carbon situată la  $15\mu$ .

În domeniul hiperfrecvențelor atenuarea introdusă de gazele atmosferice este constantă și este cauzată, în principal, de absorbția moleculară a vaporilor de apă și a oxigenului. În acest caz acționează două mecanisme:

- absorbția de rotație moleculară (vaporii de apă la  $1,63\text{ mm}$  și la  $13,5\text{ mm}$  iar ozonul la  $27\text{ mm}$ );
- absorbția spectrală paramagnetică (oxigenul molecular la  $2,5$  și la  $5\text{ mm}$ ).

În compoziție pură atmosfera nu are influențe negative în propagarea lungimilor de undă mai mari de 2 cm. Totuși, perturbațiile meteorologice duc la modificări în structura fizică a atmosferei și deci radiațiile cu lungimi de undă mai mari de 2 cm vor avea un comportament mai greu de urmărit.

#### 1.2.4.2. Difuzia atmosferică

Constituția granulară a atmosferei (începând cu moleculele de gaz de bază până la picăturile de apă și praful din atmosferă) provoacă difuzia radiațiilor electromagnetice. Difuzia poate fi studiată comparând mărimea relativă a particulelor cu lungimea de undă a radiației. În practica se iau în considerare trei cazuri considerate importante:

- cazul dimensiunilor neglijabile ale particulelor față de lungimea de undă,
- cazul dimensiunilor comparabile ale particulelor și lungimii de undă,
- cazul dimensiunilor mari ale particulelor față de lungimea de undă.

Primul caz corespunde lungimilor de undă din domeniul vizibilul, al doilea caz este întâlnit în prezența vaporilor de apă și aerosolilor, în timp ce al treilea caz se întâlnește din cauza particulelor de praf, picăturilor de apă și cristalelor de gheață.

În primul caz procesul de difuzie este cunoscut sub numele de “difuizie Rayleigh”. Teoria generală a acestui fenomen arată că difracția este proporțională cu  $\lambda^{-4}$ ; Fenomenul explică culoarea albastră a cerului și arată că unghiul sub care sunt difractate razele are o distribuție specifică.

Atunci când ne aflăm în de-al doilea caz, procesul de difracție este cunoscut sub denumirea de “difracția lui Mie”. Dacă diametrul particulelor este mult mai mare decât lungimea de undă, difracția devine independentă de lungimea de undă. Astfel se explică culoarea cenușie a norilor.

În domeniul vizibil ( $\lambda < 15\mu$ ) singurele particule care pot provoca difracție sunt vaporii de apă. Posibilitățile de penetrație ale infraroșului în cazul perturbațiilor meteorologice sunt destul de scăzute neputând fi ameliorate decât în mică măsură.

Hiperfrecvențele (de la 1mm la 30 cm) sunt perturbate limitat de picăturile de ploaie în cazul lungimilor de undă foarte scurte. De aceea tehnicile radar sunt considerate, practic, independente de starea vremii.

#### 1.2.4.3. Emisia atmosferică

Conform legii lui Kirchoff, un material sau un gaz care absoarbe puternic o lungime de undă prezintă, în același timp și o puternică emisivitate. Atmosfera terestră prezintă o emisivitate superioară în cazul lungimilor de undă corespunzătoare benzilor de absorbție. În același timp, atmosfera, are comportamentul corpului negru la temperaturi între 200 și 300 ° K.

Pe măsură ce traiectoria undei se apropie de orizont, emisivitatea corespunzătoare ferestrelor de transmisie tinde către unitate.

#### 1.2.4.4. Refracția

Mediul gazos care constituie atmosfera este afectat de refracție în funcție de presiunea și temperatura mediului (adică și de altitudine). Radiațiile nu se propaga după verticală locului și nu sunt rectilinii. De aceea, mărimea unghiului dintre poziția aparentă observată de la sol și poziția reală depinde de unghiul de elevație aparent, de altitudinea punctului și de starea higrometrică a atmosferei (Fig. 7).

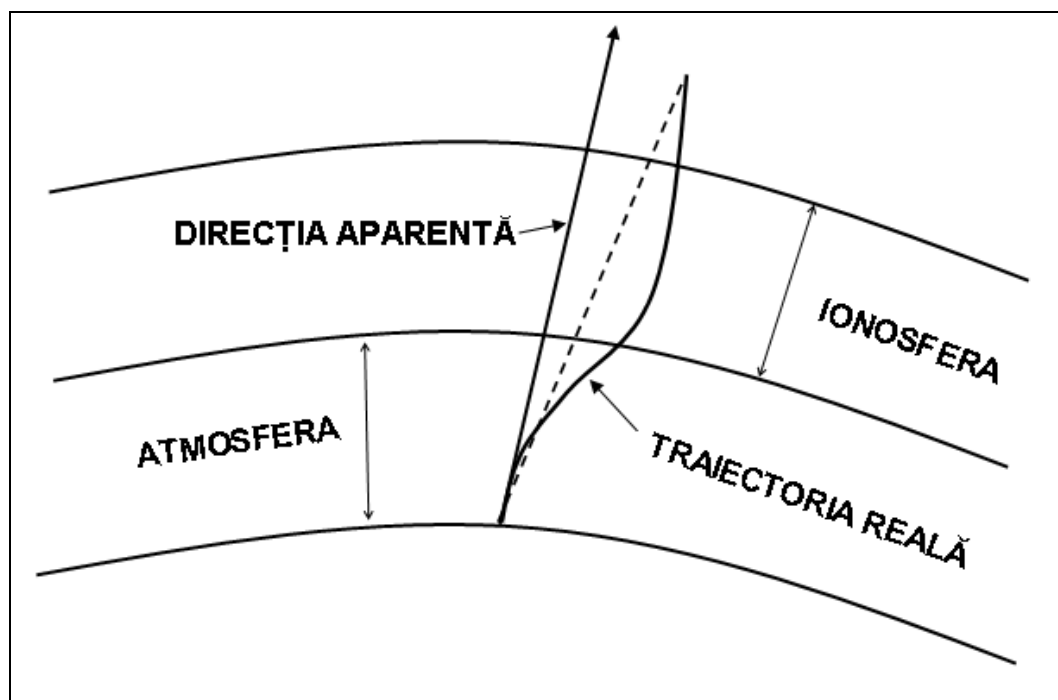


Fig. 7 Traectoria razei la traversarea atmosferei și ionosferei

#### 1.2.4.5. Turbulența atmosferei

O consecință importantă a turbulenței atmosferice este variația indicelui de refracție. În acest caz ponderea acestei perturbații depinde, evident, de gradul mai ridicat de turbulență în proximitatea mediului marin și a reliefului mai frământat comparativ cu regiunile deșertice.

Amplitudinea instabilității radiațiilor depinde și de distanța la care se găsește zona de turbulență față de punctul în care se efectuează înregistrarea. Turbulența se manifestă în condițiile variațiilor rapide și pe distanțe mici ale vitezei și intensității curenților verticali de aer și atunci când conținutul de vapori de apă este ridicat se asociază cu formării norilor.

#### 1.2.5. Ionosfera, mediu perturbator

De la 80 la 1000 km altitudine se întinde o zonă ionizată de foarte puternică densitate electronică. Mai sus de 1000 km, densitatea este foarte puțin cunoscută și variază de la  $10^4$  la  $10^2$  electroni pe  $\text{cm}^3$  în regiunea situată la 36000 Km.

Ionizarea atmosferei superioare este provocată de radiația solară foarte puternică. În consecință, densitatea electronică este, mai mare, pe de-o parte ziua față de noapte, iar pe de alta parte variază semnificativ în perioada de activitate solară mai intensă.

De fapt, un semnal electromagnetic care se propagă în ionosferă, este afectat de o mare varietate de perturbații cauzate de anizotropia și turbulența mediului:

- refracție,
- încetinire de undă,
- perturbații ale efectului Doppler,
- scintilații (sau variații aleatoare) asupra efectelor de mai sus,
- rotația planului de polarizare al undei,
- atenuarea (slăbirea) undei,
- dispersia semnalului

Toate categoriile de perturbații enumerate sunt luate în considerare atunci când se proiectează un sistem de observare a Pământului.

#### *1.2.5.1. Refracția generată de ionosferă*

Când o undă electromagnetică se propagă în ionosferă, aceasta suferă refracții pe toată lungimea traseului său. Fenomenul este cauza unei erori în măsurarea (stabilirea) poziției unghiulare a vehiculului spațial purtător de captori/senzori.

Pe tot traseul undei refracția provocată de diferitele straturi ale atmosferei suferă modificări ale traiectoriei după legile cunoscute din fizica. Este de semnalat că refracția provocată de paturile inferioare ale atmosferei este de sens opus față de refracția provocată de ionosferă. Eroarea de punctare cauzată de ionosferă este invers proporțională cu pătratul frecvenței pentru lungimi de undă mai mici de 3 m.

#### *1.2.5.2. Încetinirea și atenuarea undei*

Viteza de propagare a undei în atmosferă este cu foarte puțin inferioară vitezei luminii. Deoarece deducem distanța pe care o parcurge unda electromagnetică cu ajutorul timpului, presupunând viteza sa egală cu viteza luminii, vom face o eroare  $\Delta r$  în evaluarea acestei distanțe. Aceasta eroare este invers proporțională cu pătratul frecvenței. Este introdusă, de asemenea, o eroare în determinarea distanței cauzată de curbura razei care, însă, este neglijabilă față de precedentă. Atunci când lumina străbate orice mediu material transparent, deci și atmosfera, valoarea vitezei de propagare a luminii în este mai mică decât valoarea vitezei luminii în vid. Astfel, la trecerea luminii dintr-un strat transparent într-un alt strat are loc modificarea vitezei, concomitent cu schimbarea direcției de propagare, generând fenomenul de refracție.

Atenuarea semnalului electromagnetic care traversează ionosferă este total neglijabilă pentru toate lungimile de undă mai mici de 1 m. În consecință, pentru o lungime de undă de 1 m și o elevație dublă, semnalul este atenuat doar cu 2,5%, dar, pentru lungimile de undă din ce în ce mai mari, ionosferă devine progresiv opacă.

#### 1.2.5.3. Eroarea efectului Doppler și rotația planului de polarizare

Un semnal radioelectric emis de un vehicul în mișcare și primit de o stație fixă suferă o scădere de frecvență generată de efectul Doppler. Acest fenomen este cauzat de mișcarea relativă dintre sursă și receptor. Pentru o undă care se propagă în ionosferă, aceasta scădere de frecvență este însoțită de o eroare cauzată de refracția mediului gazos.

Dacă o undă electromagnetică polarizată liniar pătrunde într-un mediu ionizat în prezența unui câmp magnetic unda se separă în două componente independente. Acest fenomen cunoscut sub numele de birefringență se produce în ionosferă în prezența câmpului magnetic terestru. Pentru lungimi de undă mai mici de 3 m acele două componente rezultate sunt polarizate în direcții opuse.

Cele două unde rezultate se propaga cu viteze diferite, astfel că, la ieșirea din straturile ionizate, cele două componente polarizate circular se recombina pentru a forma o undă liniară al cărui plan de polarizare a fost rotit în raport cu planul de polarizare al unde incidente. Acest fenomen este cunoscut sub numele de efect Faraday. Unghiul de rotație al planului de polarizare este invers proporțional cu pătratul frecvenței unde.

#### 1.2.5.4. Scintilațiile

Scintilațiile sunt iregularități în distribuția densității electronice care cauzează fluctuații în amplitudine, frecvență, distanța față de sursă și în fază. Aceste iregularități sunt proporționale cu pătratul lungimii de undă, iar faza este proporțională cu lungimea de undă. Toate aceste scintilații sunt neglijabile pentru lungimi de undă mai mici de 0,6 m. Așa cum s-a mai spus, lumina, e refractată în mod diferit de diferitele pături atmosferice, iar imaginea unor surse de lumină își schimbă permanent poziția aparentă suficient pentru a produce un fenomen de clipire.

### 1.3. Radiația electromagnetică în interacțiune cu suprafața terestră

#### 1.3.1. Comportamentul obiectelor în interacțiune cu radiația electromagnetică.

Pentru o radiație oarecare care intră în contact cu un obiect oarecare se poate scrie legea care urmează:

$$R_{\lambda} + T_{\lambda} + A_{\lambda} = 1$$

în care:

$R_{\lambda}$  = reflexia totală pentru o lungime de undă dată

$T_{\lambda}$  = transmisia totală pentru o lungime de undă cunoscută

$A_{\lambda}$  = absorbția totală pentru o lungime de undă dată

Unda reflectată (cea care corespunde termenului  $R_{\lambda}$  al egalității), poate fi înregistrată de un captor (deci este purtătoarea informației în teledetecție). Pe de altă parte, toate obiectele emit energie în diferite lungimi de undă. Aceasta energie, la rândul său, poate fi captată și analizată. În consecință, în toate domeniile spectrale considerate, energia înregistrată provine, în principal din reflecțiile radiației incidente sau din emisia undelor electromagnetice de către obiectul considerat.



Pentru a înțelege mai ușor procesul vom defini reflectanța totală a unui obiect pentru o lungime de undă dată  $R_\lambda$  ca raport între energia totală reflectată de unitatea de suprafață și energia incidentă pe această suprafață. De fapt, senzațiile de culoare rezultă din diferite valori ale reflectanței în vizibil.

În practică, reflectanța totală speculară sau difuzată se măsoară cu aparate specializate denumite radiometre.



**Fig. 8 Radiometru de teren cu patru canale spectrale**

Ca rezultat al măsurătorilor se trasează curbe ce indică reflectanța totală, speculară sau difuzată, după caz, în funcție de lungimea de undă difuzată. De aceea, din cauza naturii lor specifice, obiectele din natură vor avea curbe de reflectanță diferite.

Trebuie subliniat faptul că în laborator, cu ajutorul goniometrelor specializate se măsoară experimental reflectanța totală specifică obiectelor studiate, pe când în teren măsurăm reflectanța retrodifuzată de obiectele țintă.

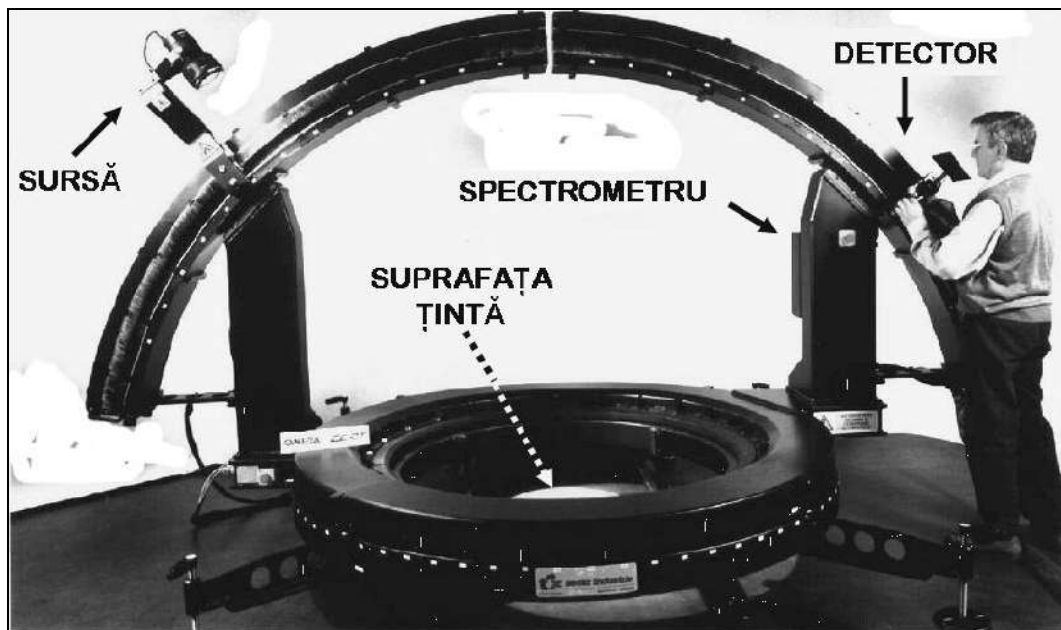


Fig. 9 Goniometrul de laborator fabricat de ONERA- Franța

Pentru a putea simplifica modul de identificare a obiectelor din imaginile de teledetecție au fost stabilite așa numitele curbe de reflectanță ale obiectelor. **Curba de reflectanță** este determinată de raportul dintre cantitatea de energie re-emisă și cantitatea de energie primită de obiectul studiat. Această definiție se aplică în cazul spectrului electromagnetic din intervalul ultraviolet - vizibil - infraroșu apropiat.

## TEMA NR. 2. SISTEMELE SATELITARE. LANȚUL DE ACHIZIȚIE, TRANSMISIE ȘI PREPROCESARE A DATELOR DE TELEDETEȚIE.

Demonstrația teoretică a posibilităților de a construi un vehicul ceresc care să se învârtască în jurul Pământului se regăsește în opera lui Isaac Newton "Principiile matematice ale filozofiei naturale", publicată în 1687, idee considerată până la începutul secolului trecut a fi fantezistă. Pe orbită se găsesc, astăzi, platforme artificiale, dintre care o mare parte sunt sateliți tehnologici de teledeteție.

Un **sistem de teledeteție** este un ansamblu constituit dintr-un **vector purtător** (satelit sau avion), unul sau mai multe **instrumente de captare** a semnalului și un **ansamblu de mijloace de telecomunicații și de prelucrare** care permit controlul, recepționarea, corectarea și exploatarea datelor.

### 2.1. Vectorii purtători

Vectorii (platformele purtătoare) sunt vehicule aeriene sau spațiale utilizate pentru a transporta o platforma și încărcătura sa utilă (în cazul teledeteției captorii și anexele lor).

### 2.2. Orbitele sateliților

În funcție de tipul de aplicații pentru care au fost lansați, ținând cont și de durata de existență prognozată, sateliții tehnologici de teledeteție utilizează două tipuri de orbite:

- **geostaționare ecuatoriale** (satelitul este plasat la altitudinea de 36000 km. "fixat" deasupra unui punct al ecuatorului). Din această categorie pot fi amintiți sateliții meteorologici europeni din seria METEOSAT și cei americani din seria GOES. Acești sateliți nu pot observa decât una din fețele Pământului, dar au ca avantaj frecvența ridicată de furnizare de imagini (o imagine la fiecare jumătate de oră, sau chiar la 15 minute în cazul satelitului Meteosat 2-nd Generation);
- **heliosincrone cvasi-polare**. Sateliții tehnologici utilizează orbite mult mai joase (650-1200 km.), trecând mereu la verticala aceluiași punct de pe orbită la aceeași oră solară. Din această categorie fac parte sateliții de pasaj SPOT, LANDSAT, dar și sateliții meteorologici din seria NOAA sau sateliții radar ENVISAT sau RADARSAT.

DE fapt, mișcarea sateliților în jurul Pământului se supune celor trei legi enunțate de matematicianul și astronomul german Johannes Kepler (imaginea de mai jos) care definesc mișcarea planetelor în jurul Soarelui pe o traiectorie eliptică:

- planeta se mișcă pe o orbită eliptică în jurul Soarelui acesta fiind situat într-unul din focarele elipsei;
- linia dreaptă care unește planeta cu soarele mătură arii egale în perioade de timp egale;

- pătratul perioadei de revoluție a planetei este proporțional cu cubul semiaxei mari.

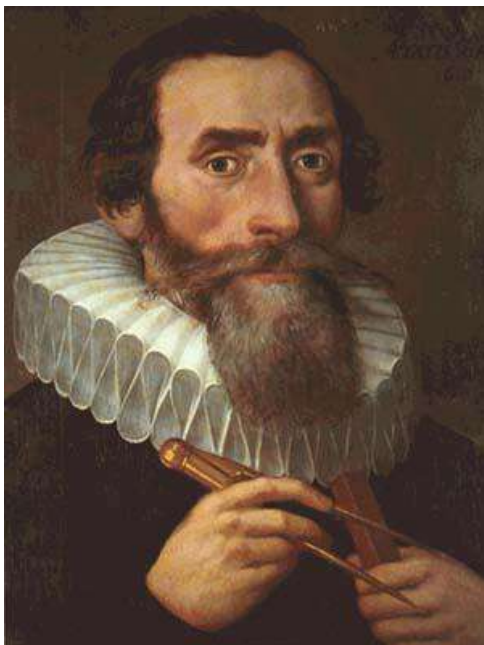


Fig. 10 Johannes Kepler

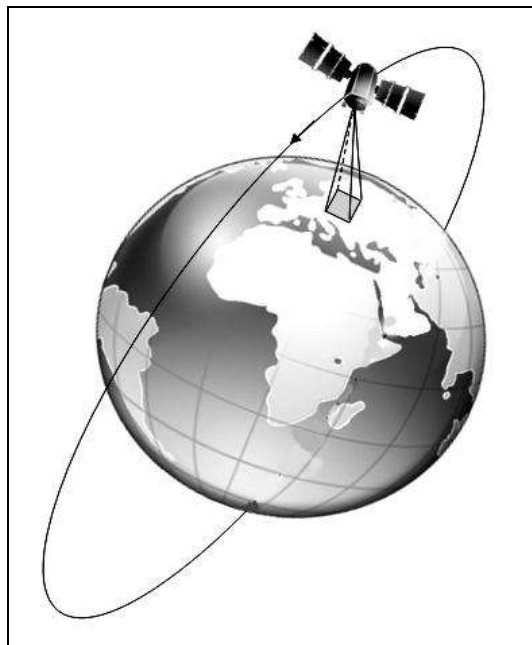


Fig. 11 Satelit cu orbită polară

**Orbita** este traiectoria curbă (de obicei circulară sau eliptică) parcursă de un obiect în jurul corpului ceresc în spațiul căruia gravitează. O altă definiție care se referă la orbitele circumterestre poate fi enunțată în felul următor: *Drumul descris de un satelit în jurul Pământului ca urmare a mișcării întreținute de atracția sa.*

Un satelit se poate deplasa constant pe orbită atâta timp cât se păstrează un echilibru între forța gravitațională și forța centripetă fiind astfel posibilă menținerea pe traiectorie a vectorului. Orbita circumterestră este curba după care se deplasează satelitul în jurul Pământului. În practică, orice satelit care se deplasează pe o orbită terestră se deplasează pe o elipsă, unul din focarele acestuia fiind centrul planetei. Dar Pământul nu este o sferă perfectă și omogenă și de aceea satelitul nu se mișcă de la traiectoria perfectă fiind necesare intervenții periodice pentru corectarea traiectoriei.

Pentru a înțelege funcționarea unui sistem operațional de teledetecție este necesar să fie cunoscute următoarele elemente care definesc orbita:

- planul orbitei;
- definirea orbitei în planul său;
- forma și dimensiunea orbitei;
- poziția satelitului pe orbită

Parametrii orbitei unui satelit sunt următorii:

- $e$  – excentricitatea elipsei,
- $a$  – semiaxa mare,
- $\Omega$  – longitudine nodului ascendent (ascensia dreaptă),
- $I$  – înclinarea orbitei față de ecuatorul terestru,
- $\gamma$  – punctul vernal
- $\pi$  – perigeul
- $T_\pi$  – momentul trecerii la perigeu

Viteza de lansare de la nivelul mării (numită și prima viteză cosmică) este :

$$V_0 = 7,912 \text{ km/s.}$$

Perioada de revoluție a unui satelit este dată de :

$$T = 2\pi \bullet R / V_0$$

După forma orbitei, orbitele circumterestre ale sateliților pot fi clasificate în circulare și eliptice. În cazul orbitei circulare viteza orbitală se calculează cu formula:

$$V = 2\pi \bullet a / T$$

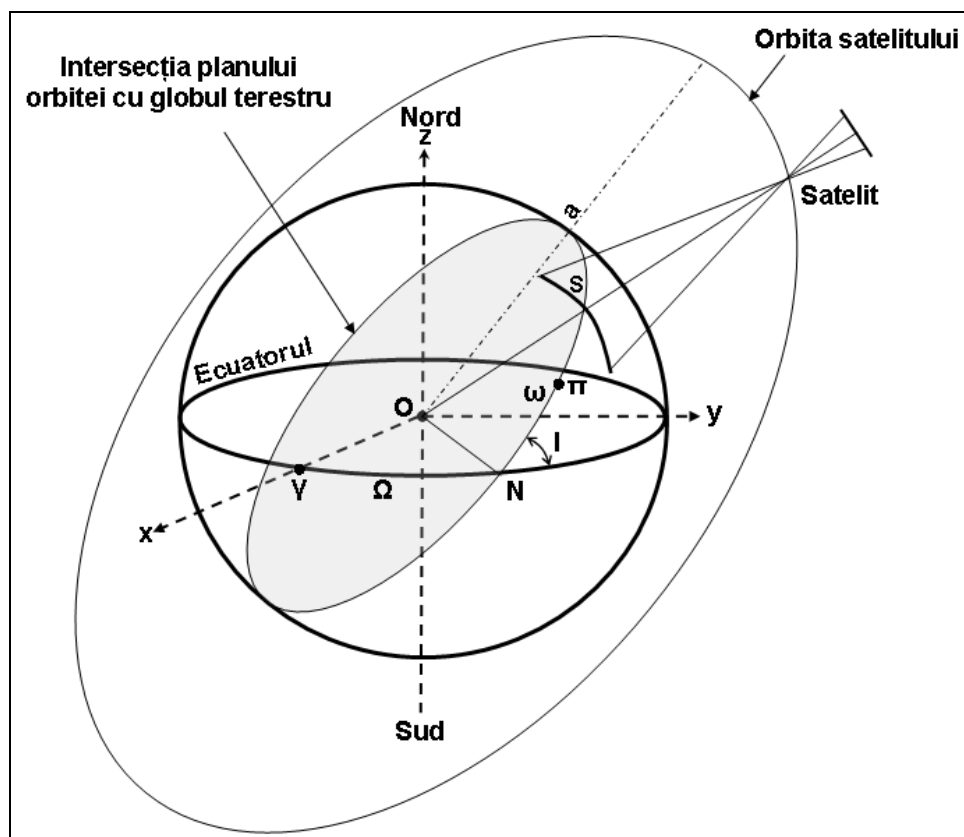


Fig. 12 Elementele orbitei

Pentru plasarea unui satelit pe o orbită circumterestră este obligatoriu ca satelitului să i se imprime o viteză tangențială care depinde de accelerația gravitațională ( $g_0$ ) și raza Pământului ( $R$ ) la locul lansării:

$$V_c = \sqrt{g_0 R}$$

De fapt, lansarea unui satelit este definită pe scurt prin enunțarea următoarelor attribute ale orbitei: perioada de revoluție, înclinarea orbitei, și altitudinile la apogeu și perigeu.

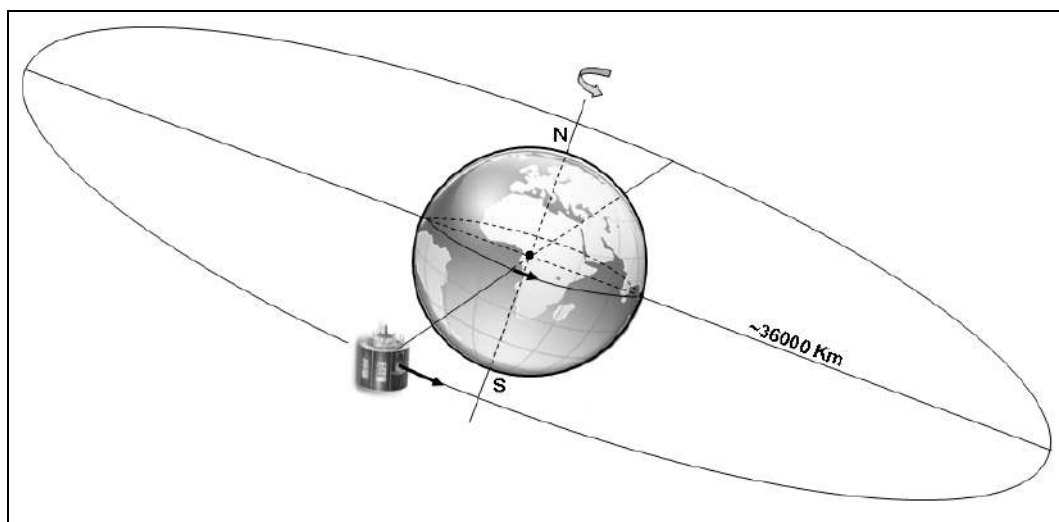


Fig. 13 Satelit geostaționar ecuatorial

În practică sunt definite trei tipuri de orbite (joase, medii și ecuatoriale) identificate prin următoarele abrevieri (fig.5) :

- **LEO** – Low Earth Orbit (orbită terestră joasă) cu altitudine de evoluție 300-1500 km și cu unghiuri de înclinare apropiate de  $90^\circ$ )
- **MEO** – Medium Earth Orbit, (altitudine 9800-20500 km)
- **GEO** (GSO) – Geostationary Earth Orbit (orbită geostaționară ecuatorială)

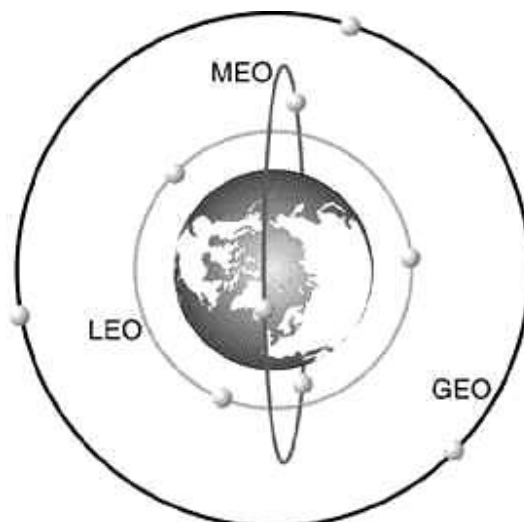


Fig. 14 Tipuri de orbite

Modului de deplasare a sateliților pe orbită este sintetizat în enumerările și paragrafele următoare în care sunt amintite alte câteva noțiuni de bază utilizate în mod obișnuit:

- **Orbita ascendentă:** porțiune din orbita unui satelit pe care deplasarea acestuia se face pe o direcție Sud-Nord.
- **Orbita descendentă:** porțiunea orbitei pe care satelitul se deplasează de la nord spre sud.
- **Orbita circulară:** orbită de forma unui cerc.
- **Orbita ecuatorială,** orbita paralelă cu planul ecuatorului terestru.
- **Orbita geostaționară:** Orbită situată la o altitudine de 35786 km deasupra Ecuatorului (înclinare 0 grade, viteză de revoluție egală cu perioada de revoluție a Terrei) fiind un caz particular al orbitei geosincrone.
- **Orbita înclinată:** orbită al cărei plan formează cu planul ecuatorului terestru un unghi diferit de 90.
- **Orbita polară (peripolară sau cvasipolară):** orbită al cărei plan formează cu axa polilor un unghi de maxim 10°.
- **Orbita sincronă:** orbită în jurul unui corp ceresc pe care un satelit artificial se deplasează cu o perioadă de revoluție egală cu perioada de rotație a corpului respectiv.

De asemenea, trebuie reamintite noțiunile de mai jos:

- Perioada de rotație a Terrei în jurul propriei axe măsurată față de stele fixe este de 23h56'04,09";
- Perioada de revoluție siderală a satelitului reprezintă timpul necesar de parcurgere a unei orbite complete;
- Sateliții geosincroni au o perioadă de revoluție siderală egală cu perioada de rotație siderală a Terrei;
- Sateliții geostaționari sunt geosincroni și evoluează pe o orbită circulară ecuatorială (sunt staționari deasupra ecuatorului într-un punct și se deplasează cu o viteză egală cu viteza de rotație a Pământului în jurul axei sale);
- Înclinarea planului orbitei față de planul ecuatorului poate lua valori de la 0° la 180°, iar în cazul orbitelor heliosincrone valorile sunt apropiate de 90°.

Pentru exemplificare concretă, în paragrafele următoare sunt enumerate principalele caracteristici ale orbitei sateliților SPOT din prima și a doua generație (SPOT1, 2 și 3, respectiv SPOT 4 și 5) modul de plasare a constelației sateliților SPOT pentru a asigura cea mai bună acoperire a Pământului, instrumentele utilizate pentru a obține poziția satelitului în spațiu (Doris) și instrumentele de control al atitudinii.

### 2.2.1. Orbita alocată pentru sateliții SPOT

Sateliții SPOT sunt concepuți pentru a obține înregistrări asupra Pământului astfel încât imaginile obținute la date diferite să poată fi comparate cu ușurință. Acest lucru putea fi realizat numai dacă fiecare satelit SPOT se deplasează exact pe aceeași orbită. Pentru aceasta sunt respectate următoarele caracteristici:

- Orbita este fazată, ceea ce înseamnă ca satelitul trece, în mod repetat peste un punct de la sol, după un număr întreg de zile. Ciclul satelitului SPOT se încheie în 26 zile pentru a finaliza 369 revoluții orbitale. Perioada orbitală este de 101,4 minute. Orbita se repetă cu exactitate la fiecare 26 de zile (ciclu), iar satelitul urmează orbite terestre adiacente într-un sub-ciclu care se repetă din cinci în cinci zile.
- Orbita este helio-sincronă, adică unghiul dintre planul orbital și direcția Pământ-Soare este constant. Pentru sateliții SPOT înclinarea orbitei este de  $22,5^\circ$ , ceea ce înseamnă că ora locală a nodului descendent este 10:30 (nominal între 10:15 și 10:30). Prin urmare, la o latitudine dată, imaginea este înregistrată cu iluminare constantă (altfel spus, unghiul de elevație a Soarelui la momentul înregistrării este cunoscut).
- Orbita este aproape (cvasi) polara. Aceasta caracteristică este o consecință a ultimelor două caracteristici. Înclinarea orbitei (unghiul de înclinare), în funcție de planul ecuatorial, este de aproximativ  $98,8^\circ$ . Această caracteristică permite o acoperire completă a Pământului, având în vedere și capacitatea de vizare oblică a instrumentelor de achiziție.
- Orbita este aproape circulară, cu un perigeu aproape de Polul Nord. Aceasta înseamnă că poate fi menținută o altitudine constantă față de un punct dat de la sol. Altitudinea SPOT față de un punct situat la nivelul mării la latitudinea de  $45^\circ$  Nord este de aproximativ 830 km.

Planul orbital intersectează planul ecuatorial în două puncte de-a lungul unei linii drepte cunoscute ca linia nodurilor. Un nod este punctul în care satelitul traversează planul ecuatorial: pe drumul de la nord la sud se află nodul descendent. Pentru orbita SPOT, nodul descendent se produce în timpul “zilei” (pe partea însorită a orbitei); nodul ascendent apare de la sud la nord, pentru orbita SPOT, nodul ascendent producându-se în timpul “noptii”.

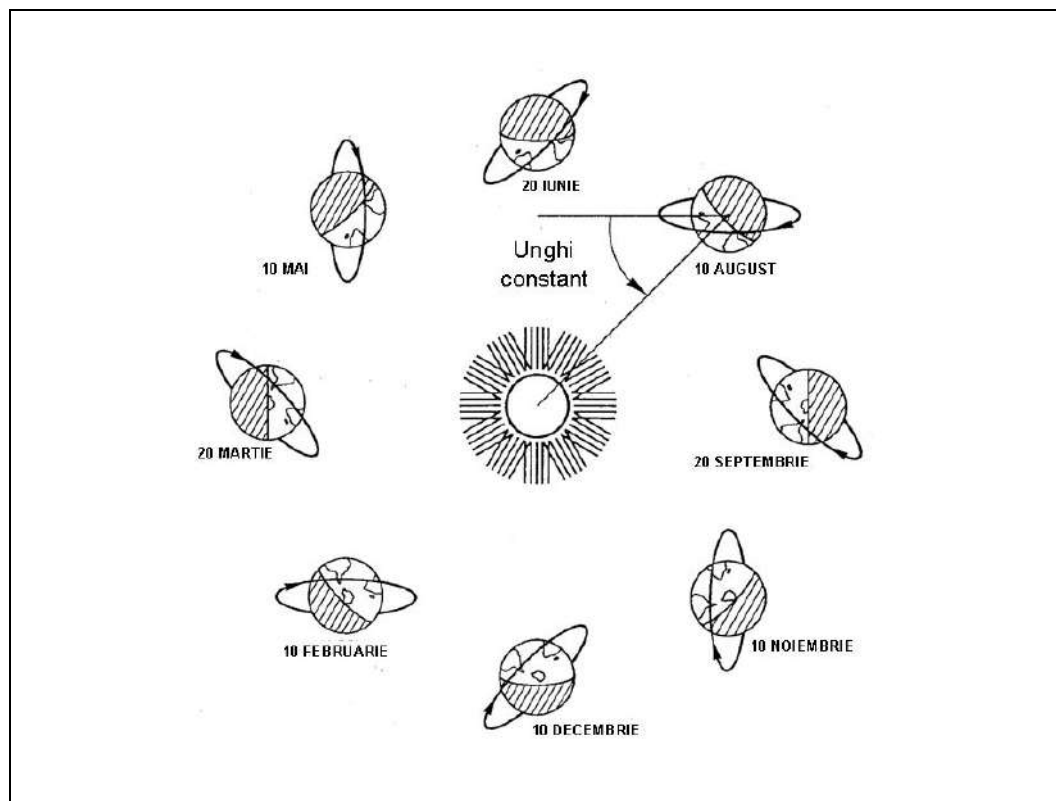
**Tabelul 1. Caracteristicile principale ale orbitei SPOT**

|            |               |
|------------|---------------|
| Tip        | Helio-sincron |
| Altitudine | 832 km        |
| Inclinare  | $98,7^\circ$  |
| Perioada   | 101,4 minute  |
| Ciclu      | 26 zile       |
| Ora locală | 10:30         |

Faza poziției orbitale SPOT5 a fost analizată în raport cu misiunile care urmează să fie efectuate de către constelația SPOT ținându-se seama și de modernizarea necesară a



infrastructurii de mentenanță. S-a considerat ca după plasarea pe orbită a satelitului SPOT 5 să rămână operaționali numai sateliții SPOT2 și SPOT4., SPOT1 fiind dezafectat și adus la sol.



**Fig. 15 Orbita heliosincronă (unghiul dintre planul orbital și direcția Soare-Pământ rămâne constant)**

În cazul primilor sateliți din seria SPOT cele două instrumente de achiziție HRV 1 și HRV 2 (întă rezoluție în vizibil) fost proiectați să funcționeze în mod independent asigurând înregistrarea datelor în mod linie cu linie (pushbroom), asigurându-se, astfel, o omogenitate geometrică perfectă pe fiecare linie. Fiecare instrument măsoară radiația reflectată de obiectele de pe suprafața terestră cu ajutorul detectorilor dispuși în linie pe o bareta, 3000 în mod multibandă sau 6000 în mod pancromatic.

### **2.2.2. Controlul orbitei cu ajutorul sistemului DORIS**

Sistemul DORIS (Sistemul Doppler de orbitografie și radio-poziționare integrată prin satelit) este un sistem radio-electric pentru determinarea cu înaltă precizie a poziționării orbitelor și a stațiilor. Acest sistem a fost proiectat și dezvoltat de către Centrul Național de Studii Spațiale (CNES, Agenția Spațială Franceză), Grupul de Cercetare în domeniu Geodeziei Spațiale (Groupe de Recherches de Géodésie Spațiale) și Institutul Geografic Național din Franța (IGN).

Sistemul DORIS este compus din următoarele elemente:

- rețea mondială permanentă de stații de emisie, numită "rețea orbitografică",

- Receptoare montate la bordul mai multor sateliți (în prezent SPOT 2, SPOT 4 și Topex-Poseidon, Envisat și SPOT 5),
- Așa-numitele "stații de localizare la sol", a caror poziție este necunoscută a priori,
- Un centru de control care efectuează monitorizarea sistemului, programarea instrumentelor și prelucrarea/arhivarea datelor.

Receptorul de la bord măsoară modificările Doppler ale semnalului emis de stațiile terestre pentru ambele frecvențe (400 MHz și 2 GHz). Frecvența dublă de măsurare este necesară pentru a reduce erorile cauzate de întârzierile de propagare ionosferică. Datele colectate sunt stocate în memoria instrumentului și descărcate la sol de fiecare dată când satelitul observă o stație de recepție. După modelarea forțelor care acționează asupra satelitului, aceste măsurători sunt prelucrate pentru a determina traiectoria sa exactă. Rezultatele calculelor orbitale se utilizează apoi pentru a determina poziția exactă a stațiilor care urmează să fie amplasate.

Două stații permanente, numite "stații master", au o funcție specifică: sunt folosite pentru a sincroniza sistemul cu Timpul Atomic Internațional și pentru a încărca datele de programare în receptoarele de la bord. Aceasta se numește sistem "uplink", deoarece semnalul este emis de balize terestre și recepționat la bordul sateliților, spre deosebire de GPS pentru care emițătorii se afla pe satelit.

DORIS poate determina orbita sateliților cu foarte mare precizie. Instrumentul DORIS, aflat la bordul satelitului SPOT4, are o funcție pentru determinarea în timp real a orbitei satelitului-gazdă. Această funcție numită DIODE (Determinarea Immediată a Orbitei prin sistemul DORIS) permite localizarea cu precizie a poziției satelitului.

Pentru satelitul SPOT 5, sistemul DORIS-DIODE a fost cuplat cu un software de bord care are incorporat un propagator de orbită numit trioda, capabil de a calcula poziția și viteza. Aceste efemeride sunt obținute la fiecare 30 de secunde și transmise la sol, împreună cu datele telemetrice.

În cazul în care datele sunt modificate, efemeridele sunt calculate pe baza propagatorului de orbita MADRAS, care include datele de intrare transmise de stațiile de comanda fiind generate informații despre efemeride, de asemenea, la fiecare 30 de secunde.

Controlul atitudinii (orientarea unghiulară) este necesar pentru ca sistemul optic să acopere permanent zona terestră programată. Cu toate acestea, satelitul tinde să își schimbe orientarea, datorită momentului forței produs de mediu (rezistența la înaintare a atmosferei reziduale pe matrice solare, presiunea radiației solare, etc.) sau de la sine (ca urmare a mișcării de piese mecanice, cum ar fi aparatele de înregistrare aflate la bord sau rotația panoului solar). Astfel, este necesar ca orientarea unghiulară să fie controlată în mod activ. Un alt motiv este reprezentat de necesitatea de a preveni "estomparea" zonelor obținute.

### 2.2.3. Sistemul local de referință orbitală

Atitudinea este permanent controlată de o buclă de control programat (AOCS): senzorii măsoară atitudinea satelitului, apoi computerul de bord procesează aceste măsurători și generează comenzi, pentru a asigura corectarea direcției.

Sateți SPOT sunt stabiliți pe trei axe, ceea ce înseamnă că orientarea lor este pe deplin controlată în raport cu aceste axe. Una dintre aceste direcții corespunde liniei de demarcație dintre satelit și centrul Pământului, numită și "direcție geocentrică" (sau "vector de poziție"); o altă axă este perpendiculară pe această axă geocentrică, în planul format de direcția geocentrică și vectorul de viteză a satelitului; a treia este perpendiculară pe primele două.

Aceste trei axe formează sistemul local de referință orbitală (ROLT). Sistemul local de referință orbitală este definit la fiecare punct de pe orbită de către trei vectori unitari. Acești vectori sunt derivați din poziția satelitului și vectorii de viteză:

- Vectorul L (Derivă / de la *Lacet* în franceză) este coliniar cu vectorul poziție P (pe axa dintre centrul Pământului și satelit). Acesta definește axa de rotație.
- Vectorul T (Tangaj / de la *Tangage* în franceză) este perpendicular pe planul orbital (vectorul L, vectorul de viteză V). Acesta definește axa longitudinală.
- Vectorul R (Ruliu / de la *Roulis* în limba franceză) completează setul de axe ortogonale. Acesta se află în planul definit de vectorii L și V și definește axa de deplasare. Acesta nu coincide exact cu vectorul de viteză datorită excentricității orbitei.

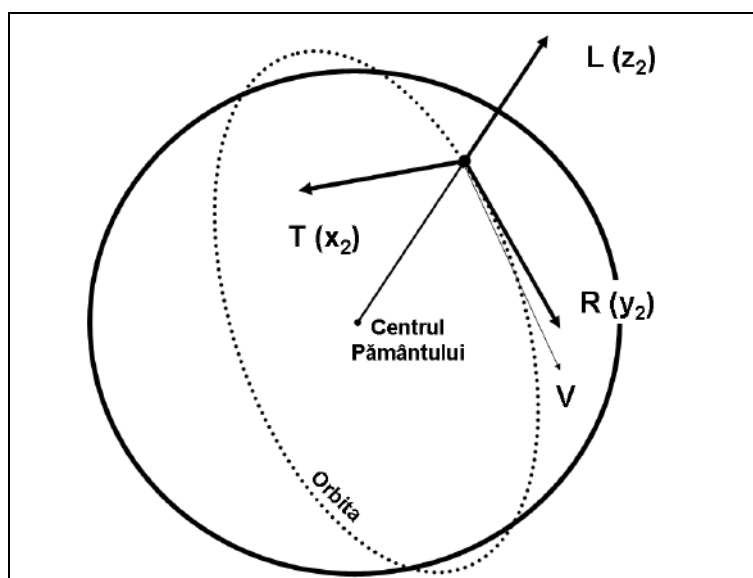


Fig. 16 Sistemul local de referință (ROLT)

Axele  $x_1$ ,  $z_1$ ,  $y_1$  reprezintă un sistem de referință ortogonală referitor la satelit (axele satelitului). Direcția atitudinii nominale constă în alinierea optimă a acestui set de axe cu sistemul local de referință orbitală (care asigură, în același timp, stabilitatea și limitează deplasările unghiulare ale acestei poziții). Pentru a asigura egalitățile  $x_1=T$ ,  $z_1=L$ ,  $y_1=R$  se utilizează o platformă inerțială constând din patru giroscopuri; acestea sunt girometre cu două axe; două dintre acestea sunt suficiente pentru a măsura viteza unghiulară de-a lungul celor trei

axe de satelit. Celelalte doua sunt astfel utilizate pentru backup. Girometrele măsoară vitezele unghiulare de-a lungul fiecăreia dintre cele trei axe în mod specific:

1. La bordul satelitului SPOT 4:

- doi senzori digitali tereștri (STD), unul nominal și unul redundant, sunt folosiți pentru a măsura deplasarea unghiulară în jurul axelor longitudinale și de ruliu;
- doi senzori digitali solari (SSD), unul nominal și unul redundant, sunt folosiți pentru a măsura deplasarea unghiulară în jurul axei de rotație (o dată pe orbită).

2. La bordul satelitului SPOT 5:

- unitate de observație stelară calculează unghiurile absolute de-a lungul axei de atitudine, identificând constelații de pe bolta cerească. Aceste măsurători, combinate cu valorile AOCS, oferă măsurători de înaltă precizie ale atitudinii față de sol (ULS).

Pentru aplicarea corecțiilor de poziție se folosesc dispozitive hidraulice (actuatoare). Trei roți magnetice purtătoare de reacție (RRPM) sunt utilizate pentru a aplica cuplul de forțe asupra satelitului și, astfel, pentru a-l roti pe una dintre axe (x, y sau z). astfel, doua sarcini magnetice de torsiune (MAC), care, prin interacțiune cu câmpul magnetic al Pământului, creează momente precise folosite pentru a controla viteza roților.

Doua tipuri de elice de manevra (care folosesc hidrazina drept combustibil), fiecare producând o forță de 3,5 sau 15 newtoni, permit orientarea lor în raport cu centrul de greutate al satelitului induce rotația în jurul uneia dintre axele x, y sau z.

În cazul unic al satelitului SPOT 5, platforma este controlată prin rotație, pentru a contracara efectul de deriva cauzat de rotația Pământului. Unghiul de rotație se modifică încontinuu în funcție de latitudinea satelitului. Aceasta operațiune permite suprimarea pixelilor "negri" introduși prin procesarea zonelor de nivel 1B.

### **2.3. Mijloacele de transmisie la sol și de preprocesare a datelor brute**

În afara vectorilor și captorilor un sistem satelitar necesită și existența unor mijloace terestre care să asigure funcționarea lanțului captare, transmisie, prelucrare, difuzare după cum urmează:

- Un centru de misiune care definește zilnic "sarcina" pe care satelitul trebuie să o îndeplinească. În legătură directă cu centrul de misiune se află stația de control care permite pilotarea satelitului și corectarea parametrilor orbitei (tangaj, ruliu și derivă).
- Un centru de preprocesare (pretratare) a datelor. Aici se recuperează datele brute primite de la stația de recepție și le transformă radiometric și geometric în vederea difuzării către utilizatori.

Pentru exemplificare, în paragrafele următoare sunt descrise elementele caracteristice ale sistemului de control și comandă specifice sateliților SPOT.

### 2.3.1. Segmentul de comandă de la sol

Instalațiile de la sol, repartizate în mai multe poziții pe planetă trebuie să asigure două misiuni distincte :

- supravegherea și gestiunea satelitului
- exploatarea datelor primite de satelit

Controlul orbitei se realizează pentru menținerea satelitului pe traiectorie și pentru asigurarea heliosincronismului. Se realizează modele de corecție care sunt aplicate prin telemăsurători.

### 2.3.2. Instalațiile de gestiune și supraveghere a satelitului

În figura următoare sunt prezentate legăturile tehnologice dintre componentele sistemului de supraveghere și gestiune a satelitului:

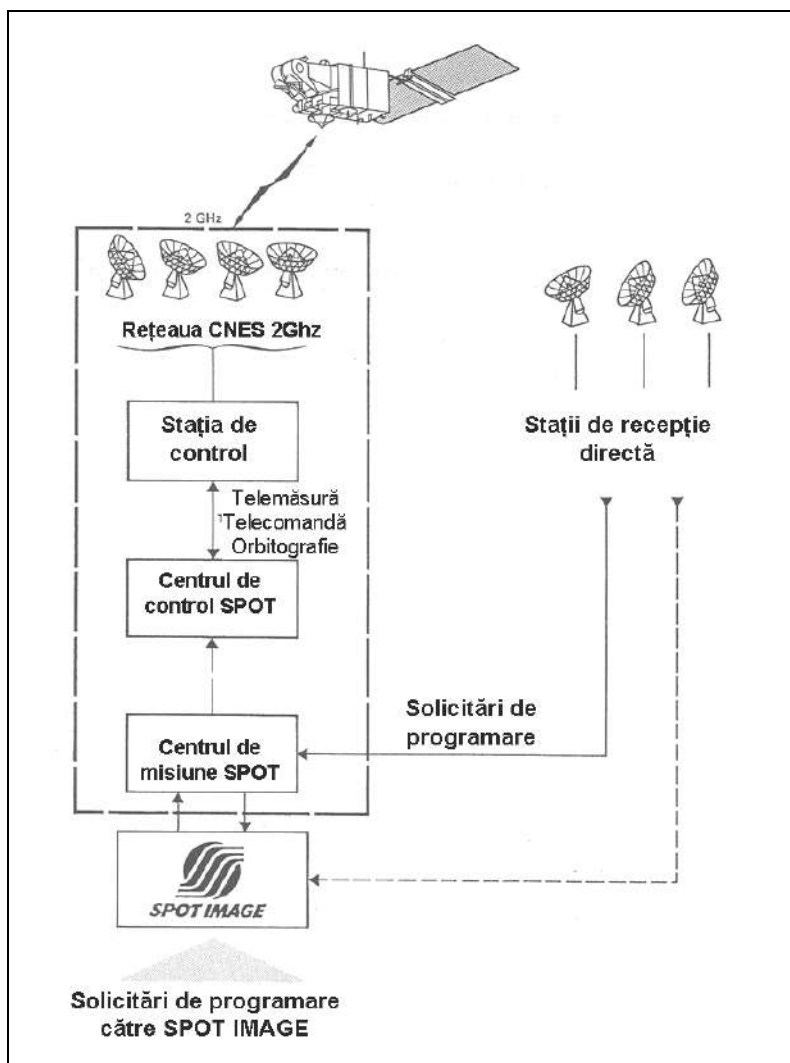


Fig. 17 Instalațiile de gestiune și monitorizare a satelitului

- Stațiile de control de la Toulouse (Franța), Kiruna (Suedia), Kourou (Guyana Franceză), Capetown (Africa de Sud) prin care sunt asigurate telecomanda satelitului, măsurătorile de localizare și recepția tele-măsurătorilor în timpul pasajului;
- Centrul de control care asigură exploatarea datelor de localizare, definește manevrele necesare pentru corecții și elaborează telecomenzile necesare;
- Centrul de misiune asigură programarea instrumentelor, centralizează solicitările venite de la SPOT IMAGE și le trimite la centrul de control pentru upload-are la satelit.

### 2.3.3. Instalațiile de exploatare a datelor primite de la satelit

Aceste instalații au două funcții:

- Recepție a imaginilor;
- Procesare a datelor

Stațiile de recepție primesc informațiile atunci când satelitul este în interiorul „cercului de vizibilitate” care are o rază de circa 2500 km și devine operațional sub un unghi de minimum 5° deasupra orizontului.

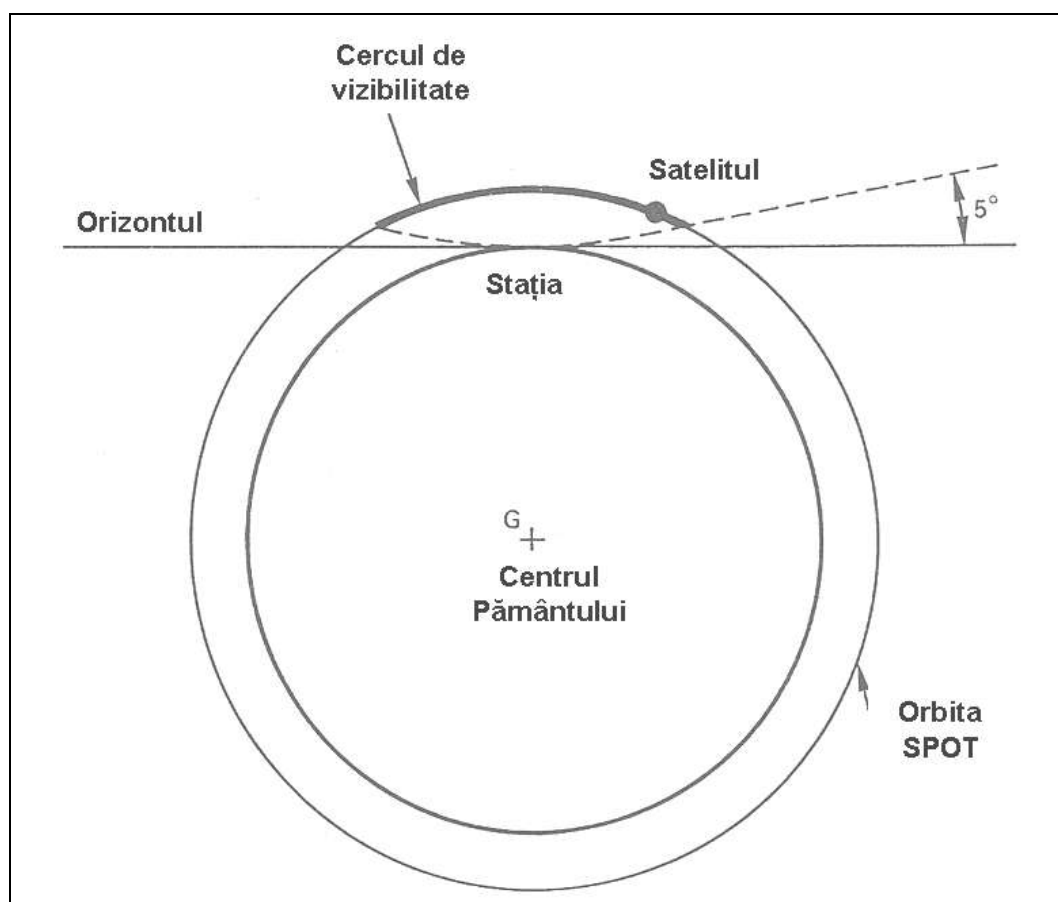


Fig. 18 Vizibilitatea de la stațiile de recepție

Recepția se poate realiza în mod vizibilitate directă (atunci când imaginea este preluată dintr-o zona din segmentul acoperit de stația respectivă, sau în mod înregistrare (atunci când

imaginea a fost înregistrată într-o zonă a globului terestru unde nu există vizibilitate de la una din stațiile de recepție) urmând a fi descărcată la trecerea în zona unei stații de recepție .

Centrele de rectificare a imaginilor (CRIS) asigură sistematic preprocesarea (geometrie și corecții atmosferice) a datelor cât și arhivarea imaginilor.

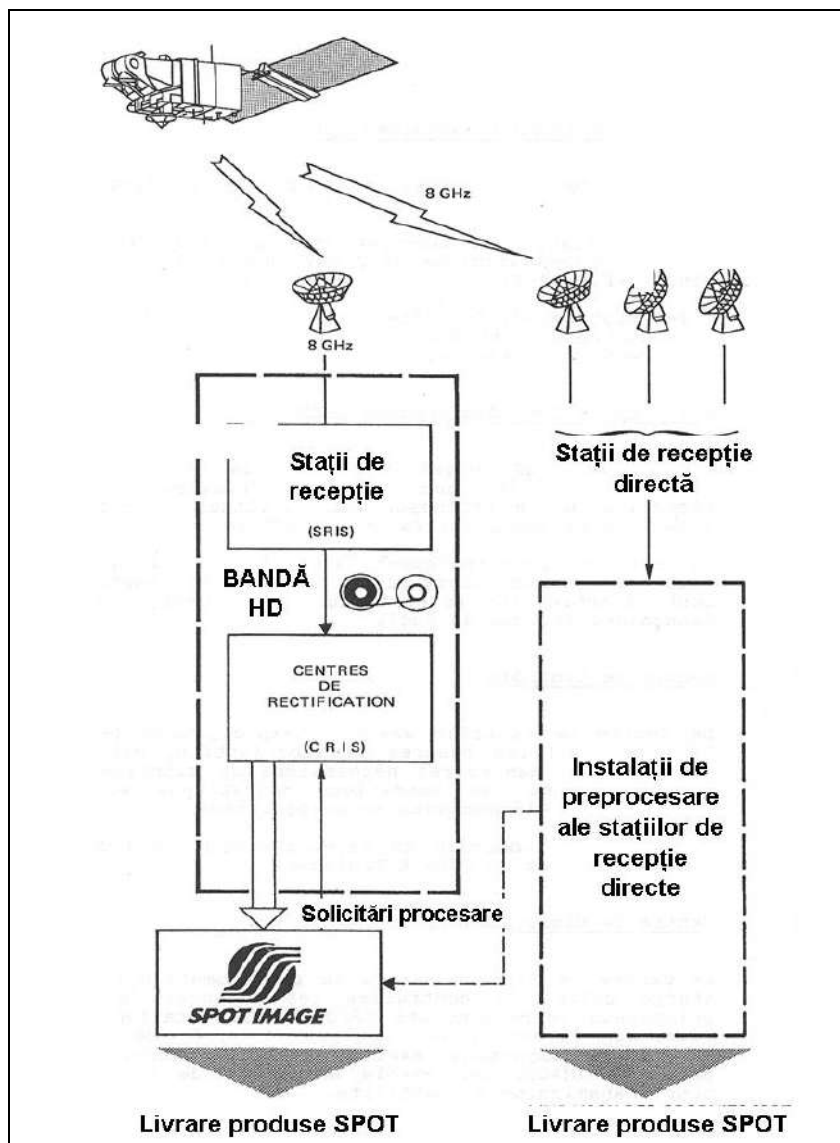


Fig. 19 Instalațiile de exploatare a datelor

#### 2.3.4. Formatul de distribuție a datelor imagine

Această secțiune prezintă, pe scurt, cele trei formate utilizate pentru diseminarea produselor imagine SPOT. Aceste formate sunt recunoscute de programele specializate de prelucrare a imaginilor (ERDAS, ENVI, ER Mapper, ș.a.) sau GIS (ESRI, Intergraph, APIC, Caris, ș.a.)

##### 2.3.4.1. Formatul SISA

Din 1986 până în 1995, primele produse SPOT 1,2 și 3 au fost livrate într-un format RAA personalizat pentru produsele SPOT, denumit și "formatul SISA". Acest format este în prezent înlocuit complet de formatul "PAC" și se afla în afara domeniului de aplicații ale acestui manual.

În timpul perioadei de tranziție, acest format a fost denumit și "formatul vechi", pentru a se deosebi de formatul PAC, denumit "formatul nou".

#### *2.3.4.2. Formatul CAP*

"Formatul CAP" a fost lansat în septembrie 1995, pentru a pregăti utilizarea datelor provenite de la satelitul SPOT4 care urma să fie lansat în 1998. Noile instrumente de la bordul acestui satelit și noile tehnici de prelucrare aveau scopul de a restructura "formatul SISA" în funcție de cea de-a 4-a bandă spectrală (SWIR).

#### *2.3.4.3. Formatul DIMAP*

Pentru SPOT 5, societatea de distribuție SPOT IMAGE a decis să utilizeze un nou standard pentru a codifica datele auxiliare: XML (R-4 și R-7). Acest limbaj flexibil permite descompunerea datelor în blocuri semantice care pot fi accesate pe internet sau de sistemele de prelucrare de imagini. Un alt avantaj al formatului DIMAP este acela că imaginile sunt livrate și accesibile direct prin formate standard (de exemplu GeoTIFF). Formatul GeoTIFF (devenit formatul standard pentru imaginile de teledetecție) are avantajul că poate îngloba în antetul (header-ul) fișierului printre informații referitoare la dimensiunea și dispunerea pixelilor și specificații despre sistemul de proiecție, sistemul de coordonate, elipsoid și datum. Trebuie notat faptul că antetul GeoTIFF nu păstrează informațiile referitoare la coeficienții specifici de poziționare a datum-ului.

În momentul de față și produsele imagine provenite de la sateliții SPO T1,2, și 3 sau SPOT 4 sunt, de asemenea, disponibile în format DIMAP.



## TEMA NR. 3. INSTRUMENTELE DE ACHIZIȚIE (CAPTORI, VECTORI, DETECTORI)

### 3.1. Generalități

Energia radiativă provenind de la scena vizată este captată cu ajutorul instrumentelor specializate aflate la bordul satelitului, eliberând în schimb semnale electrice corespunzătoare (măsurabile) ; prin similitudine camera fotografică este un captor, chiar dacă nu este eliberat un semnal electric cuantificabil. Un scurt istoric al evoluției tehnicilor de captare a semnalului este expus în paragrafele de mai jos:

Preluarea **imaginilor aeriene numerice** din avioane sau elicoptere cu ajutorul camerelor digitale aeropurtate.

Înregistrarea de **imagini spațiale numerice** de la bordul sateliților specializați și transmiterea acestora la sol prin legături radio:

- În anii '70 au apărut detectorii opto-electronici care permit înregistrarea semnalului punct cu punct cu ajutorul scanerelor mono sau multispectrale (Landsat)
- În anii '80 baretele de detectori (tip "push-broom") care permit achiziția de date linie cu linie (SPOT)
- În anii '90 au apărut matricele de detectori care permit achiziția bidimensională (2D)

Scannerul reprezintă sistemul integral de achiziție a datelor, ca de exemplu în cazul sateliților Landsat Thematic Mapper (bazat pe baleiaj transversal) și SPOT (soluție cu baretă de detectori). Scannerul este alcătuit din senzori și detectori. Trebuie reamintit faptul că instrumentele HRV ale sateliților SPOT, TM sau MSS ale sateliților LANDSAT, sau AVHRR ale sateliților din seria NOAA sunt de tip pasiv.

Senzorul reprezintă instrumentul care acumulează energia, pe care o convertește într-un semnal și o prezintă într-o formă adecvată obținerii de informații despre mediu. Detectorul reprezintă dispozitivul încorporat în sistemul de senzori care înregistrează radiația magnetică. De exemplu, în sistemul de senzori specific sateliților din seria Landsat TM există 16 detectori pentru fiecare lungime de undă (excepție fiind banda 6 care deține 4 detectori). Din păcate, calitatea imaginilor obținute cu ajutorul acestor instrumente depinde de starea atmosferică din momentul preluării.

Pentru achiziția de date numerice se utilizează trei categorii de captori care diferă prin geometria specifică de înregistrare a informației:

- Baleiajul mecanic perpendicular pe direcția de deplasare a satelitului (unul sau mai mulți detectori pentru fiecare banda spectrală în parte),
- Baleiajul de pasaj (o baretă de detectori care acoperă câmpul lateral vizat),

- Imagini bi-dimensionale (2D) ale peisajului (o matrice de detectori sau film fotografic)

### 3.2. Rezoluția în teledetecție

Un factor foarte important de care trebuie să se țină cont în teledetecție este alegerea celei mai convenabile soluții de compromis în ceea ce privește dimensiunea scenei (implicit a mărimii fișierului imagine) și rezoluția spațială specifică. Evident, nu trebuie neglijat nici aspectul financiar strict dependent de rezoluția geometrică a produsului utilizat.

Termenul “rezoluție” are un înțeles destul de larg fiind utilizat în practică pentru a descrie:

- numărul de pixeli pe care utilizatorul îi are la dispoziție în cazul unui periferic de afișare (de exemplu monitorul unui calculator);
- Suprafața de la sol pe care o reprezintă un pixel.

Rezoluție: precizia cu care este redată poziția și forma unui element geografic pe o reprezentare oarecare;

Rezoluție: dimensiunea celor mai mici detalii care pot fi detectate sau reprezentate în plan.

Particularizând, în teledetecție trebuie să fie luate în considerare, simultan, datele tehnice ale sistemului de achiziție care se referă la:

- Rezoluția spectrală,
- Rezoluția spațială,
- Rezoluția radiometrică,
- Rezoluția temporală

Rezoluția spectrală este determinată de intervalele specifice de lungime de undă descrise de pragurile minime și maxime între care un senzor este sensibil (se referă la un anumit interval de lungime de undă din spectrul electromagnetic în care poate înregistra un senzor).

Intervalele largi din spectrul electromagnetic corespund unei așa numite rezoluții spectrale brute, iar benzile înguste unei rezoluții spectrale fine.

Cu cât intervalul spectral este mai îngust cu atât puterea de discriminare este mai mare, dar numărul de obiecte identificabile scade.

Rezoluția spațială – reprezintă dimensiunea celui mai mic obiect ce poate fi sesizat pe imaginea înregistrată de senzor și este definită prin aria reprezentată de fiecare pixel (altfel spus: suprafața de la sol reprezentată de un pixel).

**Tabelul 2. Relația dintre rezoluția spațială și identificabilitatea obiectelor**

| <b>Rezoluția spațială</b> | <b>Obiecte și fenomene identificabile</b>                                                                                                                                                                   |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,5-2,5 m                 | Pot fi identificate automobile, alei în parcuri, limite de proprietate, variabilitatea sănătății plantelor la nivel de parcelă, clădiri individuale de mici dimensiuni, parcele agricole de dimensiune mică |
| 5-10 m                    | Localizarea clădirilor, terenuri de sport, străzi secundare                                                                                                                                                 |
| 20-30 m                   | Bulevarde, autostrăzi, culturi agricole pe tipuri de cultură                                                                                                                                                |
| 80-100m                   | Structuri geologice,                                                                                                                                                                                        |
| 250-500m                  | Localizarea arealelor afectate de inundații                                                                                                                                                                 |
| 1000m                     | Evaluarea elementelor de vegetație la nivel regional, fenomenelor de secetă, deșertificare                                                                                                                  |

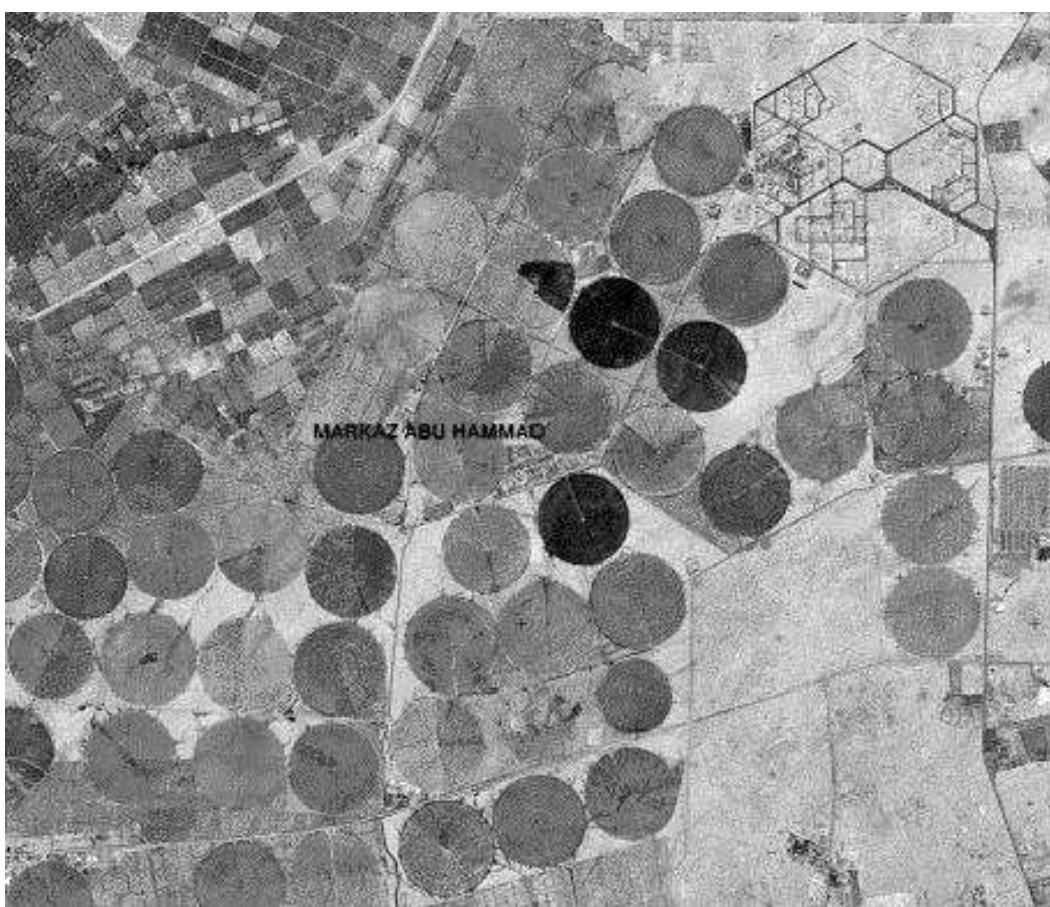
### **3.2.1. Imagini de foarte înaltă rezoluție (VHR)**



**A) Quick Bird – pancromatic 0,61m rezoluție**



B) Ikonos –panchromatic 1metru rezoluție



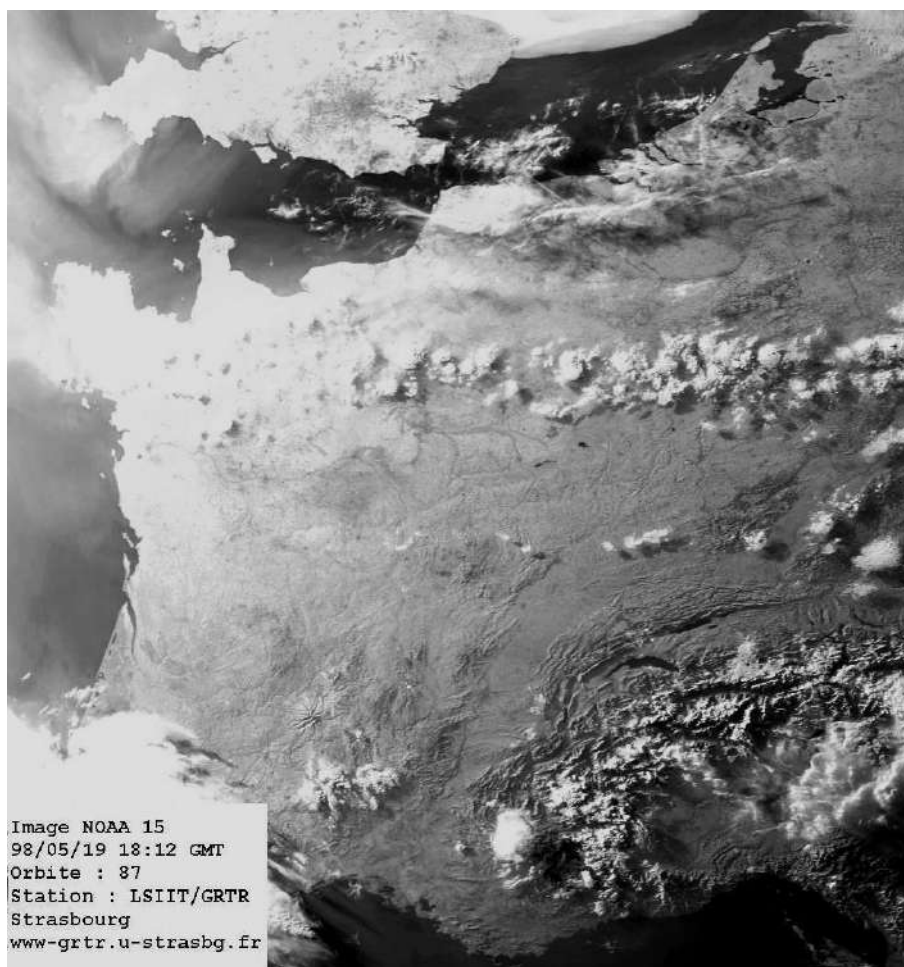
C) SPOT P- 10 m rezoluție

### 3.2.2. Imagini cu rezoluție medie 50-500m (HR)

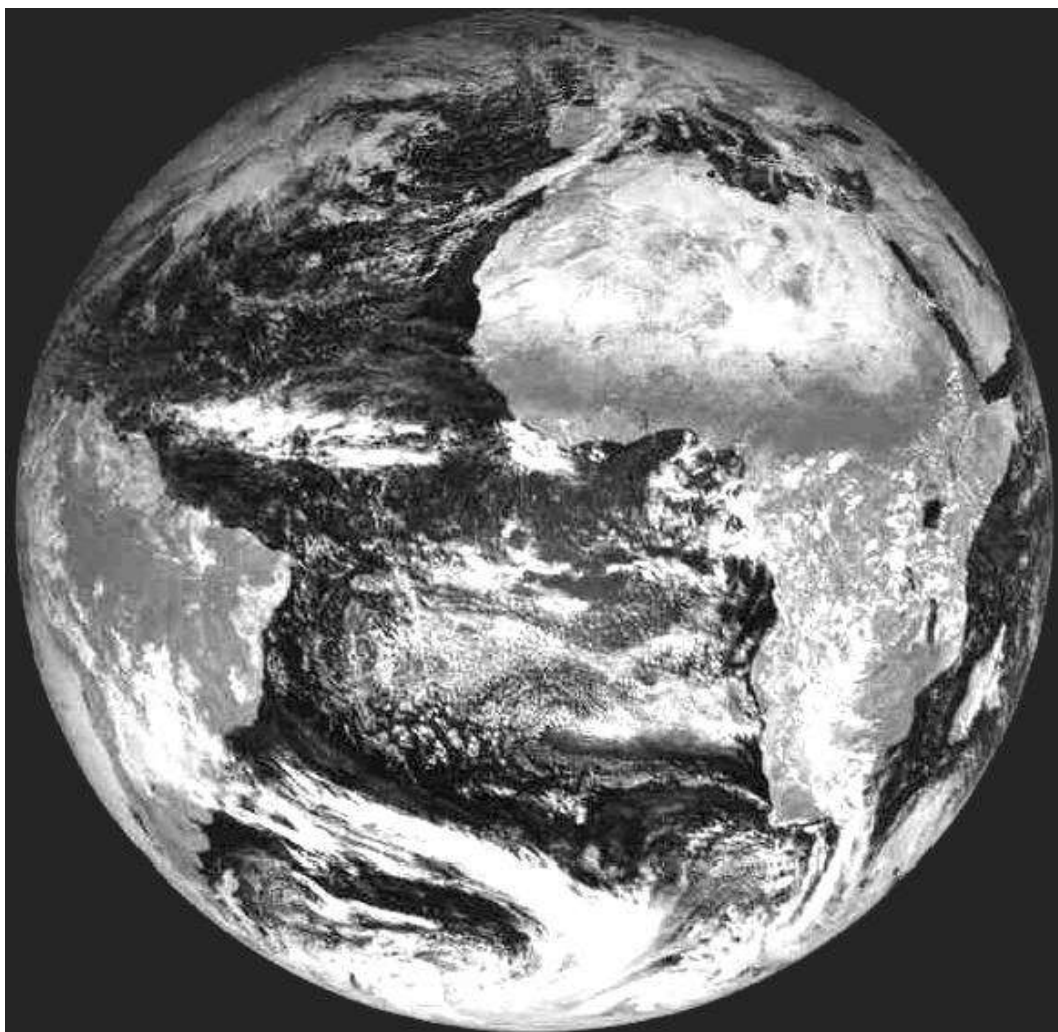


D) MODIS monocanal – 250 m rezoluție

### 3.2.3. Imagini cu rezoluție joasă și foarte joasă 1-5km



E) NOAA 15 – 1,1 km rezoluție



F) METEOSAT 1-st Generation– 4 km rezoluție  
Fig. 20 Imagini satelitare cu diferită rezoluție (A-F)

**Rezoluție radiometrică** – se referă la domeniul dinamic al înregistrării, adică la numărul posibil de valori de gri pentru înregistrarea răspunsului radiometric.

Aceasta are legătură cu numărul de biți pe care este reprezentat răspunsul spectral al senzorului. De ex: în datele reprezentate pe 8 biți domeniul dinamic este reprezentat pe intervalul 0-255.

**Rezoluția temporală** – reflectă posibilitatea de revenire (revizitare) a aceleiași suprafețe de la sol cu un senzor de același tip și indică la ce interval de timp un senzor poate să obțină informații despre aceeași zonă terestră.

Pentru sateliții Landsat TM rezoluția temporală are valoarea de 16 zile, adică după acest interval satelitul va observa aceeași zonă a globului

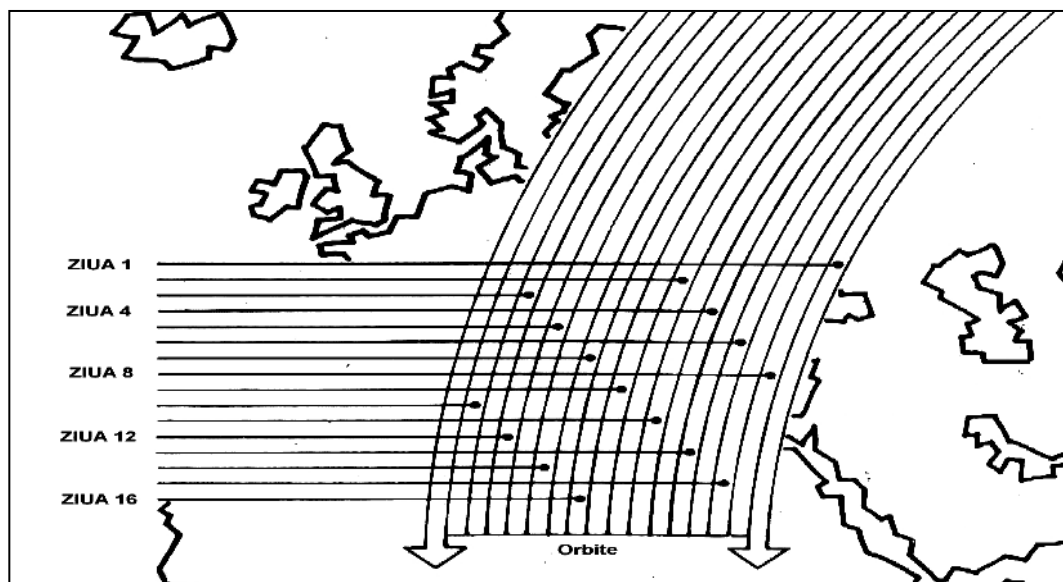


Fig. 21 Revenirea pe orbita de referință după 16 zile (Landsat TM)

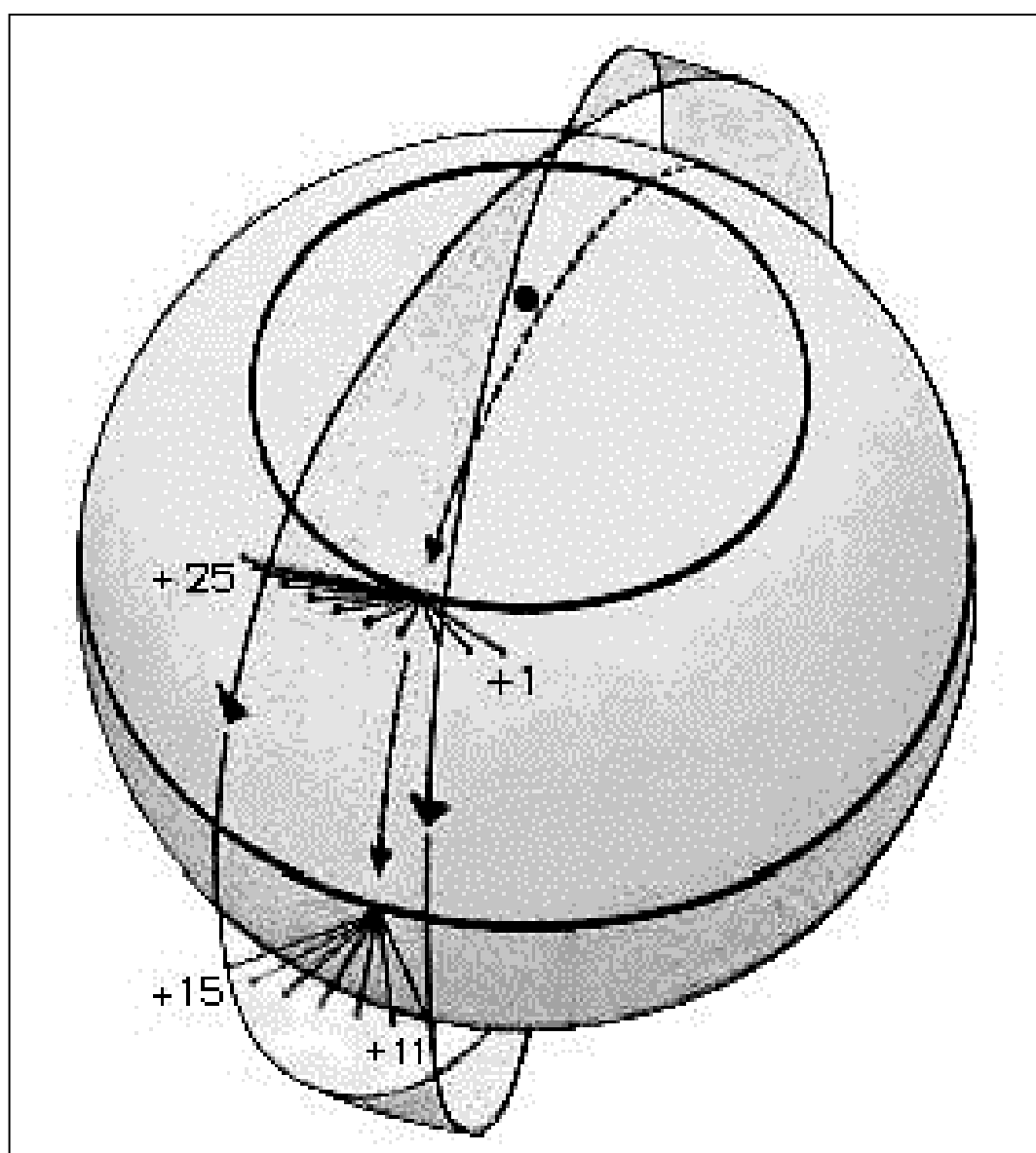


Fig. 22 Posibilitatea de revizitare în cazul sateliților SPOT



## **TEMA NR. 4. ROLUL CULORILOR ÎN ANALIZA DATELOR DE TELEDETECTIE.**

### **VIZUALIZAREA IMAGINILOR DE TELEDETECTIE.**

Lumina este o formă de energie care se propagă în spațiu sub forma undelor (oscilațiilor) electromagnetice, fiind un caz particular al energiei radiante, mai precis este acea parte a energiei radiante care este capabilă să producă ființei umane și altor organisme superioare, senzații vizuale.

Energia emisă de soare cuprinde o largă gamă de radiații electromagnetice. Dintre acestea, la suprafața Pământului, după trecerea prin atmosfera terestră (care acționează ca un filtru), ajunge doar o mică parte, care cuprinde radiațiile vizibile precum și radiații din zonele învecinate (ultraviolet și infraroșu). Toate acestea alcătuiesc (după cum s-a mai arătat în capitolul 1) zona optică a spectrului (Fig.1).

Dintre componentele spectrului radiațiilor electromagnetice, doar acelea aparținând unui domeniu foarte îngust, plasat aproximativ în mijlocul acestuia, având valorile eşalonate între 380 și 760 nm, produc senzații luminoase. Ele constituie zona vizibilă a spectrului, prezența lor simultană în cantități egale, provocând unui observator senzația luminii albe.

Ochiul uman nu este capabil să distingă componentele luminii albe, dar, atunci când printr-un procedeu oarecare, aceasta este descompusă astfel încât radiațiile componente să ocupe poziții diferite în câmpul vizual, organul vederii le diferențiază prin senzații diferite de culoare.

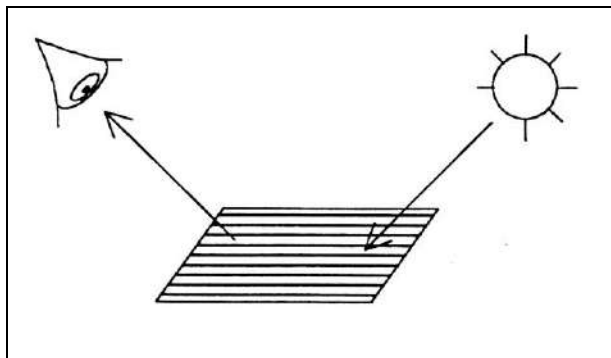
Ochiul răspunde simultan tuturor radiațiilor pe care le captează ; o radiație de o anumită lungime de undă nu poate fi distinsă dintre celelalte, cu excepția cazului în care este captată separat. De exemplu, ochiul identifică cu ușurință culoarea verde în spectrul vizibil, dar nu este capabil să izoleze această senzație din lumina albă în care acest verde este prezent. Înseamnă că ochiul nu conține o infinitate de categorii de elemente sensibile la culoare, corespunzătoare tuturor radiațiilor aparținând domeniului vizibil al spectrului. Experiența demonstrează că totul se petrece ca și cum ar exista doar trei categorii de astfel de elemente, mai precis de conuri corespunzând, în mare, celor trei zone ale spectrului care grupează radiațiile albastre (380-500 nm), verzi (500-600 nm) și roșii (600-760 nm). Este suficient astfel să se amestece în mod judicios fascicule de lumină având culorile roșu, verde, respectiv albastru (numite culori primare), pentru a realiza sinteza luminii albe. Această teorie este confirmată de faptul că orice culoare poate fi reprodusă printr-un amestec potrivit de trei fascicule de lumină, fiecare corespunzător culorilor primare.

Fiind un fenomen în întregime cerebral, rezultat din acțiunea radiațiilor luminoase asupra ochiului determinând o senzație asociată viziunii, noțiunea de culoare nu există din punct de vedere material. Culorile pot fi create de interacțiunea luminii cu obiectele, fie culorile corpurilor opace (cea mai mare parte a corpurilor din natură), sau ale corpurilor transparente (filtre, filme, diapozitive), fie prin emiterea cu ajutorul unui dispozitiv iradiant (fascicul laser, televiziune ).

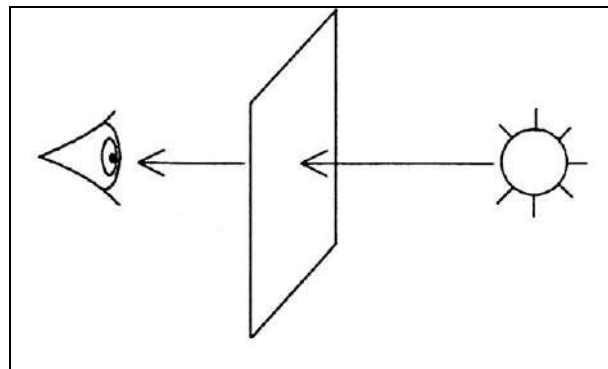
În cazul corpurilor opace culoarea rezultă din interacțiunea luminii cu un obiect. Receptorul (în acest caz ochiul) analizează, iar creierul interpretează fracțiunea de semnal



reflectat în direcția sa (fig.23). În cazul corpurilor transparente receptorul analizează, iar creierul interpretează fracțiunea de semnal transmisă către receptor (fig.24).



**Fig. 23 Culoarea corpurilor opace**



**Fig. 24 Culoarea corpurilor transparente**

În 1669 Newton a reușit să descompună experimental, cu ajutorul unei prisme triunghiulare, lumina albă în culori monocromatice, respectiv în radiații electromagnetice cărora le corespunde o lungime de undă care permite să fie caracterizate. Altfel spus a descompus un fascicol de lumină solară pentru a pune în evidență o serie neîntreruptă de culori juxtapuse, care a primit denumirea de spectru vizibil. Producerea spectrului în acest mod se explică prin faptul că indicele de refracție al unui material transparent variază cu lungimea de undă a radiației care îl traversează; în consecință, diferitele radiații componente ale unui amestec sunt deviate mai mult sau mai puțin în funcție de lungimea lor de undă.

Între culorile spectrului nu există granițe bine definite de trecere de la o culoare la alta, dar ochiul uman distinge, totuși, un număr de peste 150 de nuanțe intermediare. O culoare obținută prin excitarea ochiului cu o radiație luminoasă de o anumită lungime de undă sau de o bandă foarte îngustă de lungimi de undă (sub 5 nm) se numește culoare monocromatică, iar radiația care îi dă naștere este denumită radiație monocromatică.

În realitate, culorile uzuale sunt departe de a fi pure așa cum sunt culorile monocromatice ale spectrului. De fapt, culorile folosite în teledetecție corespund radiației acoperind un interval continuu de lungimi de undă care integrează o infinitate de unde monocromatice. De aceea, procesarea de imagini are ca obiect și caracterizarea spectrală a culorii corpurilor.

Definiția culorii poate avea diferite sensuri dacă luăm în considerare aspectul fizic, psihofizic, psiho-senzorial sau fiziologic:

- din punct de vedere fizic : radiații electromagnetice cuprinse între 375-760 nm și care formează banda spectrului electromagnetic vizibil, cu o lungime de undă care este susceptibilă să stimuleze selectiv conurile retiniene;
- din punct de vedere psiho-fizic culoarea este acea caracteristică a luminii care permite de a distinge unul de altul, două câmpuri din spectrul vizibil care au aceeași formă, mărime și structură;
- din punct de vedere psiho-senzorial, indiferent de stimulul utilizat, orice senzație luminoasă se caracterizează prin: luminozitate (factor necromatic ce se referă la intensitatea sursei luminoase), tonalitate (denumirea culorii care se referă la scara

perceptivă calitativ și indicată cu termenii de roșu, verde, galben, albastru) și saturație (caracteristică a culorii ce se referă la o scară de senzații reprezentând grade crescânde de culoare plecând de la alb).

- din punct de vedere fiziologic, compunerea unui ansamblu de trei culori primare permite reproducerea oricărei culori.

Rezultă, deci, că noțiunea de culoare include în sine doi factori:

- unul obiectiv (radiația luminoasă),
- unul subiectiv (senzația de culoare care se naște în creierul uman, ca urmare a excitării ochiului de această radiație).

#### **4.1. Geneza culorilor în natură**

Toate senzațiile de culoare pe care le încercăm rezultă din modificarea selectivă a luminii albe în natură. Principalele fenomene fizice care stau la originea acestor modificări sunt absorbția, difuzia, interferența, dispersia și fluorescența.

Absorbția. Majoritatea fenomenelor absorb selectiv o parte din lumina care le întâlnește, în sensul că absorbția variază cu lungimile de undă ale radiațiilor componente. Ca urmare, lumina care părăsește materialul (prin reflexie sau transmisie) are o compoziție spectrală diferită de cea incidentă și, fiind percepută de ochi, produce senzația unei anumite culori. Un obiect dat va apărea, deci, colorat în culoarea luminii reflectate sau transmise de el.

Difuzia. Culorile în care apare cerul la răsăritul sau la apusul soarelui rezultă datorită aceluiași fenomen care conferă cerului senin culoarea sa albastră : difuzia selectivă a radiațiilor luminoase reflectate în toate direcțiile de către moleculele gazelor care alcătuiesc atmosfera. Acționând asupra radiațiilor luminoase, moleculele de aer au influență în primul rând asupra celor cu lungime de undă mică și destul de puțin asupra celorlalte. Difuzate prin reflexie, undele luminoase cu lungime de undă mică dau cerului culoarea albastră.

Proporția de unde scurte difuzate este atât de mare încât observatorul nu mai primește decât o cantitate foarte mică din acestea: fluxul luminos este compus în principal din unde mai lungi, astfel încât soarele apare galben, portocaliu și, în anumite cazuri, în funcție de puritatea atmosferei, chiar roșu.

Când aerul este încărcat de praf, fum, picături de apă în suspensie, difuzia își pierde caracterul selectiv și, acționând asupra tuturor radiațiilor conținute în lumina solară, este difuzată lumina albă, ceea ce face ca cerul să capete un aspect alb, lăptos. În absența totală a atmosferei și deci a difuziei luminii solare, cerul ar părea negru, ca în spațiile intersiderale iar stelele ar fi vizibile la orice oră din zi și din noapte.

Interferența pe straturi transparente subțiri este rezultatul interacțiunii dintre radiațiile reflectate pe ambele fețe ale acestora, având ca efect diminuarea, intensificarea sau anularea reflexiei în funcție de faza în care acestea se întâlnesc. În lumina albă interferența are ca rezultat atenuarea selectivă a unor radiații în funcție de raportul dintre lungimile lor de undă și grosimea

stratului. Din acest motiv baloanele de săpun și petele de ulei de pe suprafața apei, care reprezintă variante ale straturilor transparente subțiri, prezintă un aspect multicolor.

Dispersia. Formarea culorilor poate proveni, de asemenea, din diferențele de refracție suferite de radiațiile având lungimi de undă diferite. Lumina albă este astfel dispersată în elementele sale componente, etalate sub forma unui spectru colorat. Exemplele bine cunoscute sunt:

- curcubeul (produs prin refracția selectivă a componentelor luminii albe solare la trecerea prin picăturile de apă aflate după ploaie în atmosferă) ;
- spectrul obținut la trecerea unui fascicol de lumină albă printr-o prismă triunghiulară transparentă;
- „apele” policrome etalate de fațetele șlefuite ale diamantului la iluminarea sa cu o sursă puternică de lumină.

Fluorescența. Radiațiile ultraviolete, deci invizibile, care, absorbite de anumite substanțe, sunt transformate în radiații de diferite lungimi de undă din domeniul vizibil, având culori strălucitoare vizibile în plină obscuritate provoacă fenomenul de fluorescență. Imaginea color de televiziune, dar și, foarte important pentru procesarea de imagini de teledetecție, cea obținută pe ecranul monitoarelor calculatoarelor, se reconstituie cu ajutorul unor luminofori a căror excitare este produsă nu de radiații electromagnetice ci de fascicule de electroni.

## **4.2. Evaluarea culorilor**

Deși culoarea este o calitate, nu o cantitate a fost necesar în vederea identificării, comparării și reproducerii culorilor, să se stabilească o serie de parametri de evaluare a acestora. În plus, deoarece culoarea este o senzație (fenomen psihic, subiectiv) provocată de o radiație electromagnetică (fenomen fizic, obiectiv), pentru evaluarea sa se utilizează atât parametri subiectivi cât și obiectivi.

### ***4.2.1. Parametrii subiectivi de evaluare a culorii***

Ochiul identifică o culoare după strălucire, nuanță și saturație :

- strălucirea este atributul senzației vizuale potrivit căruia o sursă luminoasă directă sau indirectă , pare că emite mai multă sau mai puțină lumină.
- nuanța (tonalitatea cromatică) este atributul senzației vizuale care permite să se dea o denumire unei culori, prin asociere cu o anumită regiune a spectrului vizibil. Culorile principale provenite din dispersia luminii albe sunt, în ordinea descrescândă a lungimilor de undă: roșu, portocaliu (oranj), galben, verde, albastru, indigo și violet, ale căror inițiale formează cuvântul ROGVAIV, util pentru reținerea denumirilor culorilor spectrale și a ordinii lor în spectru.
- saturația este atributul senzației vizuale care permite să se aprecieze senzația vizuală totală și se caracterizează prin amestecul de lumină albă în culoarea dată.

Parametrii subiectivi se folosesc în limbaj curent pentru aprecierea reproducerilor fotografice, a culorilor obiectelor uzuale. Pentru a se ajunge însă la performanțele actuale în domeniul reproducerii culorilor în fotografie, film, televiziune, în domeniul tipografic și, în cazul de față, în teledetecție, a fost necesară stabilirea unor parametrii obiectivi, măsurabili.

#### **4.2.2. Parametrii obiectivi de evaluare a culorilor**

În practică culoarea este evaluată făcând apel la următorii parametri :

Luminanța caracterizează intensitatea radiației luminoase a unei surse de radiații directe sau indirecte într-o anumită direcție, raportată la aria suprafeței aparente a sursei văzute din respectiva direcție.

Lungimea de undă dominantă exprimă lungimea de undă a radiației monocromatice care generează, prin comparație, culoarea pură cea mai apropiată de culoarea considerată.

Puritatea exprimă gradul de diluare a culorii pure definite de lungimea de undă, prin amestec cu lumina albă, diluare care trebuie făcută pentru reconstituirea culorii obiectului. Exemple de culori pure sunt cele spectrale.

Între parametrii obiectivi și subiectivi există următoarea corespondență:

luminanță  $\Leftrightarrow$  strălucire,  
lungime de undă dominantă  $\Leftrightarrow$  nuanță  
puritate  $\Leftrightarrow$  saturație.

În legătură cu parametrii enumerați, trebuie arătat că mărimile lungime de undă dominantă și puritate, se recunosc sub numele de cromaticitate, iar nuanța și saturația, sub denumirea de cromie.

### **4.3. Reproducerea culorilor**

Teoria tricromatică a vederii este confirmată de faptul că orice culoare poate fi reprodusă (sintetizată) prin amestecul judicios a trei fascicule de lumină colorate în albastru, verde și respectiv roșu, numite culori primare, reprezentând, fiecare, aproximativ cât o treime din spectrul vizibil.

#### **4.3.1. Sinteza aditivă a culorilor (amestecul aditiv)**

Atunci când amestecul a trei fascicule de lumină colorată se obține prin adunare spunem că au fost sintetizate culorile prin aditivare. Procedul se poate realiza într-o cameră obscură, proiectând pe un ecran alb fasciculele de lumină provenind de la trei surse coerente de lumină, prevăzute fiecare cu câte un filtru având culorile roșu, verde, respectiv albastru. Suprapunând în diferitele moduri cele trei proiecții, se obțin următoarele rezultate:

- la intersecția fascicolului roșu cu cel verde se obține o suprafață galbenă  
 $\Rightarrow (R+V=G);$

- fascicolul roșu combinat cu cel albastru generează culoarea magenta (purpuriu)  
 $\Rightarrow (A+R=M)$ ;
- fascicolul albastru combinat cu cel verde generează prin suprapunere culoarea cyan (azurie)

$$\Rightarrow (V+A=C)$$

- la intersecția celor trei fascicule colorate, se obține o suprafață albă:

•

$$(R+V+A \Rightarrow \text{alb})$$

Trecând în această egalitate pe rând, fiecare culoare în dreapta, putem scrie:

$$(R+V = \text{alb}-A) ; R+A = \text{alb}-V \text{ și } V+A = \text{alb}-R$$

dar  $R+V$ ,  $R+A$  și  $V+A$  reprezintă culorile **Galben**, **Magenta** și respectiv **Cyan**.

Rezultă că : **galbenul** și **albastrul**, **verdele** și **magenta**, respectiv **cyanul** cu **roșul**, alcătuiesc, în amestec de cantități egale, culoarea albă. Din acest motiv, culorile **galben**, **magenta** și **cyan** se numesc complementarele culorilor **albastru**, **verde** și respectiv **roșu** deoarece amestecate în proporții corespunzătoare dau o culoare neutră (**alb** sau **cenușiu**). De exemplu, culoarea complementară pentru **galben** este **violet**, pentru **roșu** este **verde-albăstrui**, iar pentru **albastru** este **portocaliu**. Așezate alături aceste culori au proprietatea de a se întări reciproc. În legătură cu culorile complementare, trebuie făcute două remarci interesante:

- culoarea **magenta** nu se găsește în spectrul vizibil; ea rezultă prin amestecul culorilor spectrale **roșu** și **albastru**;
- dacă în culorile **cyan** (**albastru+verde**), **magenta** (**roșu+albastru**) simțim într-o oarecare măsură prezența componentelor, în **galben** (**roșu+verde**) componentele amestecului își pierd complet individualitatea.

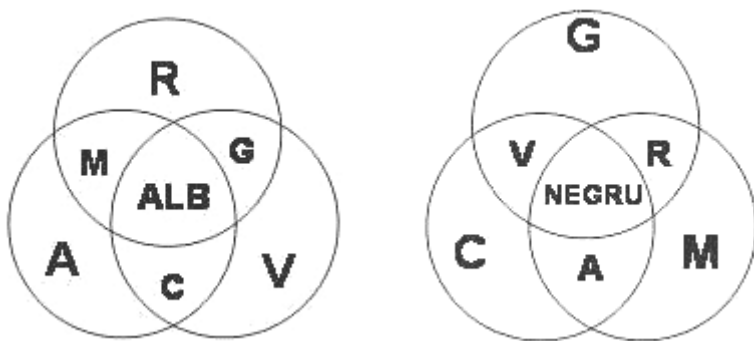


Fig. 25 Sinteza aditivă și substractivă a culorilor

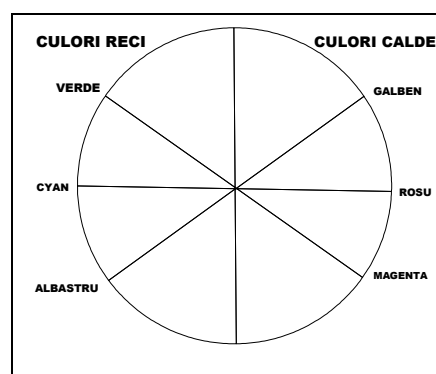


Fig. 26 Cecul culorilor

#### 4.3.2. Sinteza substractivă a culorilor

În sinteza aditivă s-a pornit de la întuneric iar culorile au fost generate pe rând, adăugând succesiv radiații diferite colorate până la obținerea senzației de alb. Există și o altă metodă, în care punctul de pornire este lumina albă din care se extrag pe rând radiațiile componente. Aceasta

metoda poartă denumirea de sinteza substractivă și se bazează pe extragerea treptată a componentelor unui amestec de radiații. Termenul amestec substractiv, folosit uneori, trebuie înțeles ca un amestec al efectelor, nu al radiațiilor, ca în cazul sintezei aditive.

Acest mod de obținere a culorilor se poate realiza experimental amplasând pe o suprafață translucidă, iluminată din spate cu lumină albă, filtre având culorile complementare: **galben**, **magenta** și **cyan**. Se constată următoarele: la suprapunerea filtrelor **cyan** și **galben** apare culoarea **verde**, filtrele **galben** și **magenta** produc culoarea **roșie** iar cele purpuriu și **cyan** culoarea albastră. Zona care corespunde suprapunerii tuturor celor trei filtre apare neagră sau gri.

Explicația apariției culorilor noi prin suprapunerea filtrelor se bazează pe principiul cunoscut al acțiunii filtrelor colorate: un filtru de o anumită culoare reține radiațiile având culoarea complementară și permite trecerea acelor radiații care au culoarea sa.

Filtrul galben permite trecerea radiațiilor având culoarea galbenă, care sunt compuse din radiații verzi și roșii. Aceste radiații întâlnesc apoi, spre exemplu, filtrul **magenta**, care permite trecerea radiațiilor **roșii** și **albastre**. Singura radiație care poate străbate ambele filtre este cea **roșie**, regăsindu-se ca o componentă atât în **magenta** cât și în **galben**. În sfârșit, când radiația **roșie** trece prin primele două filtre ajunge la filtrul **cyan**, este oprită complet, fiind complementară acestuia.

Sinteza pe cale aditivă a culorilor se află la baza formării imaginii de televiziune în culori. Reproducerea fotografică și tipografică a culorilor se bazează pe sinteza substractivă. Filtrele fotografice își îndeplinesc diferitele lor funcțiuni acționând substractiv asupra luminii.

#### 4.4. Alte noțiuni privind culorile utilizate în practica procesării de imagini

Procesarea de imagini de teledetecție, în special atunci când scopul final este unul cartografic, are în vedere multe din conceptele de utilizare a culorii în artă. Trăim într-un univers cromatic în care, teoretic, am putea întâlni aproape 30000 de nuanțe de culori deși în mod obișnuit ochiul nostru poate distinge numai opt - nouă nuanțe din fiecare culoare.

Reprezentarea adecvată, a realității din natură este întotdeauna legată de alegerea judicioasă a culorilor așa încât harta să fie expresivă și să ofere, în același timp, un confort vizual optim, fără a neglija un aspect: cu ajutorul culorilor putem crea senzația de mărire sau micșorare a spațiului. Pentru aceasta vom enumera câteva noțiuni foarte importante în practica reprezentării:

Culori cromatice: culori care reflectă lumina (solară sau artificială) neselectiv, adică reflectă în mod egal toate lungimile de unde electromagnetice vizibile pentru ochiul omenesc (între 375 și 760 milimicroni). În această categorie intră culorile alb, negru, și toate nuanțele dintre alb și negru (gri). Aceste culori se deosebesc între ele prin strălucire și luminozitate.

Culori acromatice: culori care reflectă lumina (solară sau artificială) neselectiv, adică reflectă în mod egal toate lungimile de undă electromagnetice vizibile pentru ochiul omenesc (între 375 - 760 milimicroni). În această categorie intră culorile alb, negru și toate nuanțele dintre alb și negru (cenușiu). Aceste culori se deosebesc între ele printr-o singură însușire: strălucirea sau luminozitatea.

Culori calde : roșu, roșu - gălbui, galben, galben-verzui sunt culori care dau impresia de căldură datorită valențelor calorifice (termice) ale lungimilor de undă ce le corespund și care prezintă o intensitate ridicată a energiei radiante.

Culori adânci: culori care având puritatea mare și luminozitatea mică dau senzația de profunzime, de spațialitate și îndepărtare. Exemplu: albastru și verde.

Luminozitatea sau strălucirea: reprezintă gradul de intensitate sau încărcătura energetică a razelor de lumină, respectiv a umbrelor electromagnetice, reflectate de o anumită culoare. Este determinată de amplitudinea unde luminoase. Culorile deschise (luminoase) sau strălucitoare reflectă mai multă lumină decât cele închise. Culoarea cea mai luminoasă este culoarea albă, iar cea mai puțin luminoasă, culoarea neagră. Culorile de la marginea spectrului vizual (albastru, violet) au o strălucire mai mică decât cele de la mijloc (galben). O culoare cromatică este cu atât mai luminoasă cu cât este mai îndepărtată de negru.

Saturația: reprezintă puritatea sau gradul de amestec al unei culori cu albul (amestecul lungimilor de undă). Este însușirea culorii de a fi mai concentrată, mai saturată sau mai pală și este dată de distanța la care se situează o culoare cromatică dată de culoarea acromatică - alb. Depinde de uniformitatea lungimilor de undă percepute concomitent. O culoare este cu atât mai pură cu cât undele electromagnetice care ne dau culoarea respectivă sunt mai omogene. Ca lungime de undă sunt de același fel. O culoare teoretic pură este aceea determinată de o singură lungime de undă.

Dacă percepem concomitent toate lungimile de undă, vedem culoarea albă. Saturația unei culori scade dacă adăugăm cenușiu sau dacă facem să crească sau să scadă luminozitatea. Corpurile care absorb toate lungimile de undă sunt percepute ca fiind negre iar cele care reflectă toate lungimile de undă sunt percepute ca fiind albe. Absorbția și reflexia în diferite proporții a tuturor lungimilor de undă determină nuanțe cromatice aflate între alb și negru, respectiv tonurile de gri.

#### **4.5. Rolul filtrelor în teledetecție**

La ora actuală specialiștii consideră că filtrul este unul dintre cele patru elemente fundamentale ale captării imaginii și înregistrării ei, alături de lumină, sistemul optic și materialul fotosensibil, sau, în cazurile fotogrametriei digitale și a teledetecției, senzorul digital. De aceea, orice discuție în legătură cu captarea, înregistrarea și redarea imaginii ajunge mai devreme sau mai târziu la problema filtrelor. Astfel, un filtru optic permite, în funcție de caracteristicile sale, reproducerea optimă a realității, fie redarea acesteia potrivit intențiilor analistului, de unde și necesitatea utilizării în teledetecție.

În prezent, la dispoziția celor care captează imaginea există o mare diversitate de filtre. Alegerea celui care produce modificarea potrivită și exactă a iluminării, pentru a furniza către elementul fotosensibil informații optime, presupune stăpânirea unor cunoștințe strict necesare din domeniul opticii fizice și fiziologiei din partea utilizatorului imaginii. Noțiunea de filtru exprimă în mod nemijlocit ideea de selectivitate, ideea de divizare a unui amestec într-o parte reținută și o parte căreia i se permite trecerea, criteriul de selectivitate fiind de obicei o proprietate fizică a componentelor amestecului.

Cu alte cuvinte, filtrul este un element care transmite parțial radiațiile electromagnetice incidente, fie reducând în aceeași proporție componentele sale, fie reducând diferit radiațiile, în funcție de lungimea lor de undă. Majoritatea filtrelor folosite absorb în mod preferențial unele radiații, fiind numai selective și având de obicei un aspect colorat. În fotografie se folosesc și filtre care au o acțiune uniformă asupra diferitelor radiații, indiferent de lungimea lor de undă. Acestea se numesc neselective și au un aspect gri.

Principiul acțiunii unui filtru colorat este următorul: el transmite radiațiile având aceeași culoare cu a sa și le reține prin absorbție pe cele de culoare complementară. O excepție o reprezintă filtrele interferențiale, la care o parte din radiația incidentă este reflectată, datorită fenomenului de interferență pe straturi subțiri, și o altă parte, de culoare complementară este transmisă. Trebuie precizat că, de fapt, filtrul are o anumită culoare, tocmai datorită faptului că din lumina albă incidentă, permite trecerea doar a radiațiilor care îi conferă acea culoare. Principiul acțiunii filtrelor este identic, indiferent de tipul materialului.



## TEMA NR. 5. RAMURI ALE TELEDETECTIEI GEOSPAȚIALE CU UTILIZARE TEMATICĂ. PROCESAREA ȘI ANALIZA IMAGINILOR.

Dacă până la începutul anilor '70 teledeteția tehnologică civilă era limitată la utilizarea fotografiei aeriene alb-negru și color (în domeniul vizibil și, foarte rar, în domeniul infraroșu, astăzi nu se mai poate vorbi despre acest domeniu fără a integra informația obținută prin mijloace specifice observării Pământului cu alte ramuri ale măsurătorilor terestre și ale geografiei tematice. De aceea, la nivel global, aceste tehnici de lucru sunt unanim acceptate ca făcând parte din sistemul din ce în ce mai complex cunoscut sub abrevierea EO (*en. Earth Observation*), sistem care include atât tehnicile specifice teledeteției, cât și cele ale poziționării globale.

Odată cu lansarea primilor sateliți tehnologici progresul în acest domeniu a fost foarte rapid, în special datorita dezvoltării electronicii și înlocuirii captorilor fotochimici (reactivii peliculelor) cu captorii electronici care detectează lumina variațiile de temperatură sau radar.

În sens strict, teledeteția utilizează radiațiile electromagnetice din intervalul cuprins între ultraviolet și microunde. Senzorii specifici captează variațiile de absorbție-emisie - reflexie ale suprafeței, sau chiar a stratului superficial. Datele sunt stocate pe un suport magnetic (sub formă de fișiere-imagine), în formate care permit vizualizarea pe monitoare, tipărirea lor, sau impresionarea pe materiale fotosensibile speciale (active în special în infraroșu) care permit restituția prin procedee fotografice clasice.

Radiațiile electromagnetice sunt utilizate și în geofizică dar, datorită faptului că tehnicile de înregistrare care utilizează zone ale spectrului cu lungimi de undă inferioare ultravioletului (raze X și Gamma) sau mai mari decât microundele și care captează un semnal a cărui origine este situată la adâncime, nefiind având doar o restituție pe profil, se consideră că nu fac parte din metodele de teledeteție.

Este acceptat faptul că teledeteția tehnologică se referă la aplicațiile pentru care metoda de procesare a datelor depinde de natura specială a vectorilor purtători (avion, satelit) utilizați cu captori și detectori asociați unor porțiuni ale spectrului electromagnetic, chiar dacă există și replici terestre utilizând același tip de echipament de înregistrare a datelor.

### 5.1. Ramurile teledeteției

De asemenea, se consideră că în domeniul aplicativ se folosesc patru tehnici uzuale de teledeteție :

- **trei cu înregistrare pasivă** : fotografia aeriană sau cosmică, cunoscută și sub numele de fotogrametrie, teledeteția multispectrală în domeniul vizibil și infraroșu;
- **două cu înregistrare activă** : radar și lidar (laser radar).

Această clasificare nu este exhaustivă. Evoluția rapidă a tehnologiei a introdus tipuri noi de captori specifici domeniului hiperspectral (instrumente care au mai mult de 10 benzi spectrale

sau chiar peste o sută). De asemenea menționăm și tehnicile lidar care au preluat în mare măsură unele din atribuțiile fotogrametriei.

O altă tehnică considerată a fi o parte a teledetecției este **videografia** care este folosită mai ales pentru cartarea tematică de urgență în zonele greu accesibile, dar precizia cu care sunt obținute datele îi conferă acesteia un caracter informativ

Multă vreme s-a considerat că există două ramuri ale teledetecției, din care una, de orientare figurativă, utilizează metode de analiză calitativă care permit, cu foarte mare dificultate, generarea de imagini, cunoscută și sub denumirea de teledetecție analogică, iar cea de-a doua, care se referă la aspectul numeric, apărută și dezvoltată odată cu computerele, tratând informația în mod abstract, ca o colecție de măsurători care subliniază caracterul inerent cantitativ al datelor. În cazul al doilea imaginea nu este înțeleasă ca informație ci ca un mecanism simplu pentru vizualizarea informației.

Tehnologia laturii figurative este mult mai veche și, consideră unii, mai dezvoltată din punct de vedere conceptual, senzorii utilizați (camerele fotografice) fiind la îndemâna oricui, un aspect foarte important în evaluarea capacităților fiind marea experiență acumulată în tehnicile de analiză asociate, specifice interpretării fotografiilor ortocromatice, pancromatice, spectrozonale în vizibil sau infraroșu, dar și în ultraviolet.

### **5.1.1. Fotogrametria aeriană**

Fotografia aeriană este la originea teledetecției, iar utilizarea sa rămâne în continuare o certitudine (privind fie și numai din punct de vedere al rezoluției geometrice) chiar dacă înregistrările din satelit permit acoperirea unor zone mult mai vaste, au o repetitivitate superioară, iar procesarea datelor este mult simplificată, mai ales datorită progreselor informaticii care au dus la elaborare de algoritmi performanți de automatizare a multora dintre procesele de pregătire și interpretare a datelor.

Fotografia constituie o bună bază de studiu și de analiză care permite vizualizarea:

- detaliilor semnificative și a poziției lor relative,
- a structurilor din punct de vedere al degradării sau evoluției lor,

în vederea confruntării cu alte documente necesare unei aprecieri exacte a fenomenelor.

Atunci când lanțul tehnologic de achiziție, prelucrare și exploatare a documentelor fotografice respectă anumite criterii de control al geometriei imaginii ne găsim în domeniul fotogrametriei (fotografiei metrice). Cuvântul "*fotogrametrie*" se datorează arhitectului german Meydenbauer care a asamblat cuvintele grecești „*photos*”(lumină), „*gramma*”(un lucru scris sau desenat), și „*metron*”(măsură) pentru a desemna un nou mijloc de reprezentare tridimensională a naturii. De fapt, acesta a preluat și adaptat, în 1893, ceea ce fusese experimentat și aplicat între 1850 și 1861 de francezul Laussedat. El a fost cel care a utilizat camera clară pentru a realiza relevee topografice printr-un procedeu pe care l-a denumit „*metrofotografie*”. Astfel, noțiunea de măsură a fost asociată cu fotografia, de atunci fiind acceptată definitiv. Anterior acestui moment, în 1726, M.A. Kappeler folosea imaginile perspective desenate ale terenului în scopuri topografice pentru a întocmi harta masivului muntos Pilatus, iar în 1759 matematicianul S.H.

Lambert a tratat bazele reconstituirii perspectivei centrale și a intersecției spațiale în lucrarea "Perspectiva liberă".

În plan calitativ imaginea fotografică poate fi interpretată cu scopul evidențierii diverselor caracteristici ale mediului de către specialiști din diverse ramuri ale științelor naturii. În plan cantitativ, fotografia aeriană și tehnicile fotogrametrice multispectrale în vizibil și infraroșu permit măsurarea formelor și dimensiunilor terenului cu ajutorul unor instrumente clasice, în vederea elaborării hărților și planurilor.

Practic, clasarea și arhivarea fotografiilor a devenit o etapă esențială a studiului geografic. De aceea este necesar ca principiile tehnice de bază și modul de exploatare a documentelor fotografice și fotogrametrice trebuie să fie înțelese pentru ca acestea să poată fi valorificate eficient.

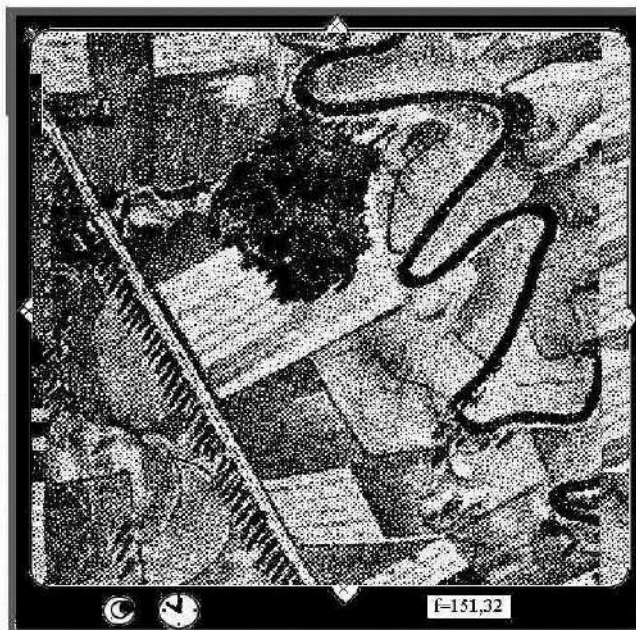
*Fotogrametria este tehnologia cu ajutorul căreia se realizează măsurători extrem de precise pe fotograme aeriene sau terestre preluate cu camere speciale pentru determinarea cotelor, suprafețelor, distanțelor sau volumelor, în vederea realizării de hărți topografice și tematice sau produse fotogrametrice specifice (fotograme redresate, fotograme redresate cu rețea, fotoplanuri, fotoscheme, fotomozaicuri).*

O altă definiție, aparținând lui H.Boneval, sintetizează sugestiv legătura dintre realitatea din natură și modul cum poate fi reconstituită prin mijloace mecano-optice:

*Fotogrametria este o tehnică de lucru care permite definirea precisă a formelor, dimensiunilor și poziției spațiale a unui obiect, utilizând măsurători făcute pe una sau pe mai multe fotografii ale aceluiași obiect.*

Nu trebuie omisă definiția dată în 1980 de Societatea Americană de Fotogrametrie și Teledetecție "Fotogrametria este arta, știința și tehnologia de obținere de informații fiabile asupra spațiului natural sau asupra obiectelor fizice prin înregistrarea, măsurarea și interpretarea imaginilor fotografice sau a trăsăturilor produse prin radiația energiei electromagnetice sau prin alte fenomene." Această definiție face referire și la teledetecție ca parte componentă a fotogrametriei, eliminând doar o parte din confuziile și incertitudinile generate de formularea mai veche "știința și arta obținerii de măsurători fiabile prin mijloace fotografice".

Sintetizând, se poate spune că această disciplină tehnico-științifică are ca subiect determinarea poziției obiectelor sau fenomenelor în spațiu și în timp pe baza măsurărilor care se realizează în perspectivele fotografice ale obiecte sau fenomenelor studiate.



**Fig. 27 Fotograma**

Pe lângă faptul că fotogrametria este recunoscută ca fiind o tehnică de lucru obiectivă, precisă și pasivă (nedestructivă), asigurând obținerea mult mai rapidă a informațiilor fără contact direct cu subiectul observării fotografice, trebuie subliniat faptul că această disciplină este, totuși, greoaie, scumpă și complexă, fiind rezervată în mare măsură numai specialiștilor. Acest ultim aspect este parțial compensat de apariția tehnologiilor de înregistrare și prelucrare numerică, acestea compensând lipsa cunoașterii unei părți a lanțului tehnologic specific fotogrametriei clasice.

Fotogrametria clasică permite culegerea și prelucrarea de date necesare activităților de cercetare, studiu și proiectare pe baza unor cunoștințe din domeniile geometriei, matematicii și fizicii pentru a interpreta imaginea virtuală tridimensională a unei perechi de fotograme cu scopul reconstruirii unui model care să corespundă cât mai fidel peisajului inițial. În ultimul deceniu, corelat cu evoluția spectaculoasă a informaticii, pe lângă geometrie, matematică, fizica radiațiilor electromagnetice și optică, se poate spune că un rol la fel de important îl deține electronica. Aceasta din urmă stă la baza utilizării imaginii video și a altor mijloace pentru reconstituirea realității tridimensionale.

S-a dovedit faptul că perfecționarea metodelor de obținere și exploatare a fotogramelor este corelată cu diversitatea problemelor pe care pot fi rezolvate în domeniile cele mai diferite, atunci când apare necesitatea efectuării de măsurători de precizie. În abordarea problemelor de fotogrametrie suntem confrunțați cu procesul vederii stereoscopice și cu tehnica măsurărilor stereoscopice.

Chiar dacă progresul informaticii este exponențial, folosirea tehnicilor figurative se dovedește a fi, încă, foarte sigură și, în multe cazuri, economică pentru o mare varietate de aplicații operaționale, dezvoltarea acestei tehnologii nefiind, în nici un fel, stopată, în special pentru că echipamentele specifice analizei numerice sunt costisitoare, atât din punct de vedere fizic, dar și în exploatarea specializată.

Posibilitatea achiziționării de imagini fotografice digitale cu ajutorul camerelor specializate a inițiat o nouă etapă în dezvoltarea fotogrametriei. Imaginile în format raster sunt procesate cu ajutorul unor programe specializate, din ce în ce mai puțin costisitoare. Fazele obligatorii care trebuie parcurse, în condițiile stabilirii prealabile prin aerotriangulație (calculul orientării interioare și exterioare), a geometriei camerei sau a senzorului relativ la obiectele de pe suprafața Pământului, constau în generarea cuplului stereoscopic și exploatarea acestuia în funcție de scopul propus (elaborarea de ortofotoplanuri sau a modelului digital al terenului). Această metodă de lucru a preluat o mare parte din principiile fotogrametriei analitice, adaptându-le procesării digitale.

Tehnicile LIDAR, încă destul de costisitoare, au o importanță din ce în ce mai mare pentru obținerea de date care descriu suprafața terestră (de fapt ceea ce numim „acoperirea terenului”) prin prelucrări complexe realizate cu ajutorul unor sisteme de calcul sofisticate,



**Fig. 28 Vizualizarea unui fragment aferent unei zone portuare dintr-o reprezentare LIDAR**

Un caz particular al exploatării fotogrametrice digitale este reprezentat de perechile de imagini satelitare preluate de pe poziții orbitale succesive ale satelitului, ceea ce implică stabilirea unui pseudocentru de perspectivă pentru fiecare linie de baleiere în parte, spre deosebire de fotografiile aeriene clasice transformate în format raster prin scanare și care se supun regulilor perspectivării clasice. Este de la sine înțeles că în prezent marea majoritate a sateliților de foarte înaltă rezoluție utilizează perechi de imagini preluate cvasi-simultan pentru exploatare stereoscopică

Ca produse uzuale ale proceselor specifice fotogrametriei digitale ortoimaginile (ca sursă primară pentru cartografia digitală) și ortohărțile (similare cu hărțile standard) pot constitui elemente de referință pentru constituirea bazelor de date geo-topografice utilizabile în Sistemele Informaționale Geografice.

### 5.1.2. Teledetecția multispectrală în vizibil și infraroșu

Prin comparație cu fotogrametria, tehnologia sistemelor orientate numeric, folosește instrumente electronice apte să preleveze date referitoare la zone mult mai largi, utilizând mult mai eficient și ferestre invizibile ale spectrului electromagnetic. Trebuie remarcat faptul că aceste sisteme permit și analiza datelor de factură figurativă (analogică), existând multe tehnici de interpretare care sunt aplicabile în ambele tehnologii.

Datorită perspectivei largi, facilitată de altitudinea la care evoluează satelitul purtător de captori și senzori, a numărului de benzi spectrale dedicate și a vitezei de deplasare sunt obținute mari cantități de informații. Se consideră că datele de teledetecție sunt cu adevărat valorificate numai dacă utilizarea lor satisface simultan condițiile de rapiditate și de cost rezonabil. Din păcate, aceasta nu depinde numai de sistemul satelitar, ci și de posibilitățile de prelucrare a volumului imens de date în vederea extragerii informațiilor tematice relevante prin mijloace tehnologice încă destul de scumpe, care, din nefericire, necesită și o instruire destul de pretențioasă a personalului.

Sistemele de baleiere multispectrală permit folosirea unor metode foarte eficiente de obținere a datelor spectrale într-o scară largă de lungimi de undă și stocarea lor de manieră cantitativă. Fiind singurul mijloc de valorizare a acestor date, tehnicile de analiză computerizate constituie elementul esențial în exploatarea datelor. În practică este obligatorie corelarea posibilităților de achiziție a datelor cu modul de recunoaștere și de procesare numerică a datelor cu scopul transformării lor în informații utile, adică trecerea de la cantitativ la calitativ.

Instrumentele clasice de tipul scanerelor multispectrale utilizate până în prezent în teledetecție ne-au obișnuit cu utilizarea unor benzi spectrale limitate ca număr (ultimul satelit din seria SPOT are 5 benzi spectrale iar Landsat 5 TM are 7) și destul de largi, în general circa 100 nm (fig.8).

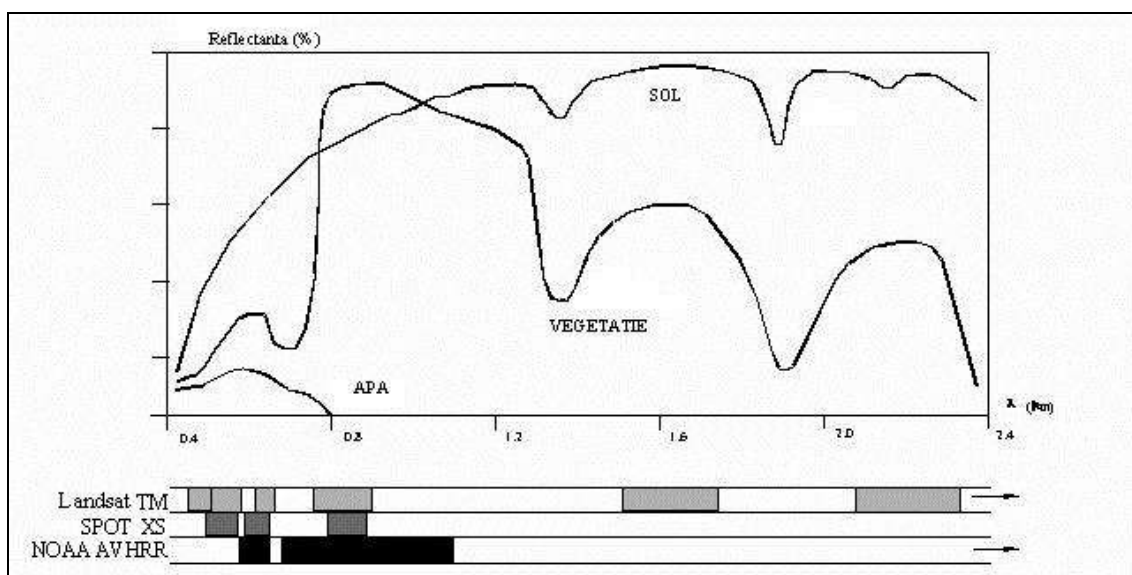


Fig. 299 Reflectanța specifică apă, soluri, vegetație; Benzile spectrale Landsat TM, SPOT și NOAA/AVHRR

O nouă generație de instrumente de observare este deja operațională; este vorba despre așa numitele sisteme hiperbandă (hiperspectrale). Acești captori, utilizați și în variantă aeropurtată,

au capacitatea de a observa Pământul cu ajutorul unui mare număr de benzi spectrale, uneori între 100 și 200 pentru un singur instrument, cu lărgimi de banda foarte mici, cu ordin de mărime de cca. 1  $\mu\text{m}$ . Rezoluția spectrală ridicată, de ordinul nanometrilor, permite asocierea unui spectru aproape continuu fiecărui obiect sau fenomen, facilitând accesul la informații din ce în ce mai detaliate.

### ***5.1.3. Teledetecția în microunde***

Deși instrumentarul radar a fost folosit cu mult înaintea senzorilor multispectrali se poate spune și acum, când pe orbite este plasată o serie importantă de sateliți radar (ERS, JERS, RADARSAT, ENVISAT, ALOS, TerraSAR-X, COSMO-SkyMed), aplicațiile nu au avut până de curând un caracter operațional, fiind considerate mult timp, în faza de cercetare.

Instrumentele sateliților radar sunt de tip activ având avantajul independenței înregistrărilor față de starea atmosferică. Inițial, sistemele active cu microunde au fost proiectate pentru a observa zonele acoperite cu gheață sau zăpadă și oceanele, zone în care acoperirea sistematică cu nori împiedică înregistrarea de date optice și multispectrale. Experimentele care au urmat lansării platformelor spațiale radar au dus, în urma programelor de cercetare, la rezultate surprinzătoare. Așa cum s-a mai amintit în paragrafele precedente, imaginile multispectrale pot fi utilizate complementar cu imaginile din domeniul microundelor.

Produse radar utile, spectaculoase, dar și foarte precise, pot fi utilizate pe scară largă în cartografierea topografică și geografică. Procesul interferometric, a devenit operațional odată cu plasarea pe orbită și punerea în funcțiune a sateliților europeni ERS 1 și ERS 2. Procedul a fost folosit la producerea modelului digital al terenului cu o precizie de 3-5 metri. Datorită preciziei orbitei sateliților radar și a calității ridicate a datelor este posibilă achiziționarea de informații coerente din punct de vedere al geometriei și poziției absolute pentru complexe provenite de la două sau mai multe pasaje pe aceeași orbită. În prezent, datele provenite de la sateliții TerraSAR-X și TanDEM-X permit obținerea unor seturi de date mult mai precise.

Pe lângă aplicațiile MNT, rezultate promițătoare au fost obținute în domeniul studiului efectelor cutremurelor și alunecărilor de teren de mare întindere, dar pot furniza și informații valoroase asupra structurii geologice și a compoziției chimice terestre. În relație cu senzorii optici pot fi realizate aplicații foarte utile care nu depind de starea atmosferică, nici de prezența radiației solare, deci este posibilă și utilizarea intervalului nocturn pentru înregistrare.

#### ***5.1.3.1. Caracteristici tehnice ale instrumentelor radar***

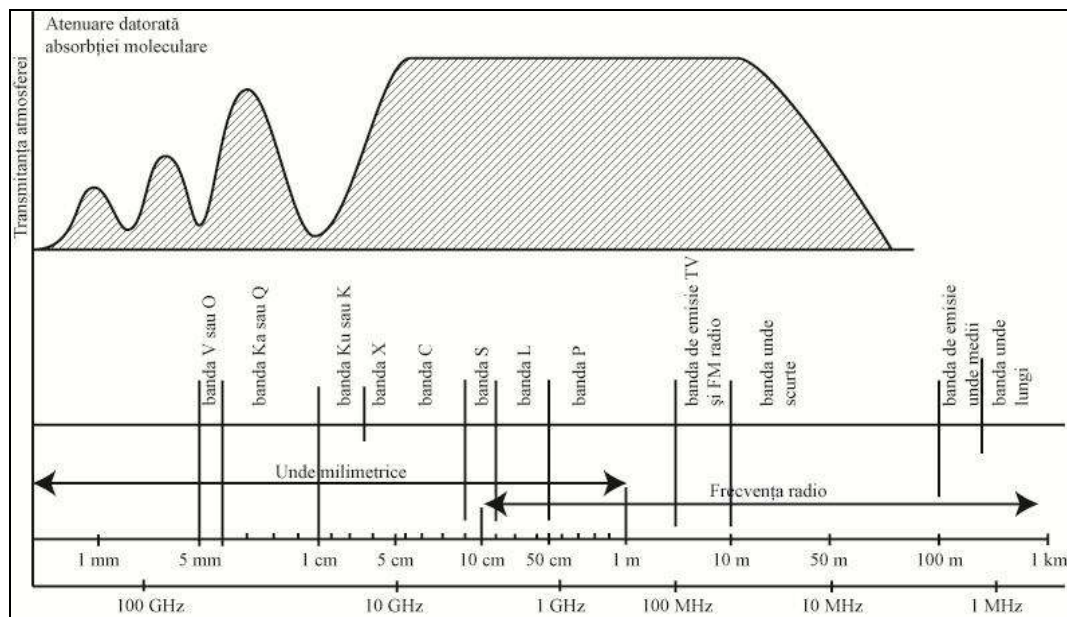
Se poate spune că, după 1989, utilizând tehnicile radar, a fost introdusă o nouă generație de sateliți tehnologici care funcționează pe baza emiterii direcționale a unui semnal de microunde urmat de recepționarea radiației reflectate de ținta terestră. Din păcate, datorită consumului mare de energie necesară funcționării sistemului de emisie-recepție, sateliții radar din primele generații nu putea fi activ decât în mod secvențial, în cadrul unor misiuni precis parametrizate, unii dintre aceștia având o activitate limitată la aproximativ 10 minute pe oră.

Senzorii activi de preluare sunt dotați cu surse proprii de energie. Radarul este un sistem ce permite determinarea poziției spațiale și distanța până la un obiect pe baza undelor



electromagnetice retrodifuzate de acesta. Sistemele radar (Radio Detection and Ranging) sunt operative și pe timpul nopții și au capacitatea de a penetra acoperirea cu nori și ceață. Un sistem radar este alcătuit, în principal, dintr-o unitate de transmisie, o unitate de recepție, o antenă și o componentă electronică care are rolul de a înregistra și procesa datele.

Unitatea de transmisie emite spre spațiul obiect, în mod succesiv, impulsuri de radiație electromagnetică la intervale de timp regulate. Aceste impulsuri sunt concentrate cu ajutorul antenei într-un fascicul cu caracteristici foarte precis determinate. În urma interacțiunii cu spațiul obiect (radiația incidentă este absorbită, transmisă, reflectată, dispersată etc.), o parte din radiația incidentă este retro-reflectată și ajunge la senzorul aeropurtat sau satelitar.



**Fig. 30 Intervaile de bandă ale spectrului electromagnetic utilizate de sistemele radar**

Unitatea de recepție înregistrează radiația retro-reflectată după ce aceasta interacționează cu spațiul obiect și radiația emisă de suprafața terestră a Pământului. La nivelul unității de recepție, radiația incidentă este transformată în semnal electric, care ulterior este înregistrat, amplificat și prelucrat în scopul formării imaginii reflectivității spațiului obiect. Prin măsurarea intervalului de timp scurs între emiterea și recepționarea semnalului poate fi determinată distanța dintre elementele din spațiul obiect și senzorul radar.

Sistemele de teledetecție care acționează în domeniul microundelor, în intervalul de bandă 1 cm – 1 m și sunt caracterizate atât prin:

- lungimea de undă ( $\lambda$ ) în care operează,
- prin frecvența ( $\Phi$ )

Cu cât lungimea de undă  $\lambda$  este mai mică, cu atât se pot concentra fasciculele mai înguste și astfel se pot detecta detalii mai mici. Denumirile alocate în mod convențional anumitor intervale de bandă (Ka, K, Ku, X, C, S, L, P) utilizate de sistemele radar a rămas aceași încă din timpul celui de al Doilea Război Mondial, când această tehnologie a cunoscut o dezvoltare semnificativă. Dintre acestea, cel mai frecvent folosite în aplicațiile de teledetecție sunt benzile X, C și L. Intervaile de bandă utilizate de sistemele radar sunt prezentate în figura următoare:



Calitatea datelor înregistrate de sistemele radar este influențată de caracteristicile morfologice ale terenului (panta și rugozitatea) și de acoperirea cu vegetație. Din acest motiv apar fenomene de suprapunere și umbră a elementelor imaginii (figura 31). Din cauza pantei terenului, punctele D, E, F și G apar în ordine inversată în imaginea radar, iar punctele situate între G și H nu pot fi iluminate de impulsul radar deoarece se află într-o zonă umbră. În consecință, elementele din imaginea radar situate între pozițiile 5 și 8 nu conțin semnalul retroreflectat de suprafața terestră, generând un gol de informație, care apare în nuanțe întunecate în imagine.

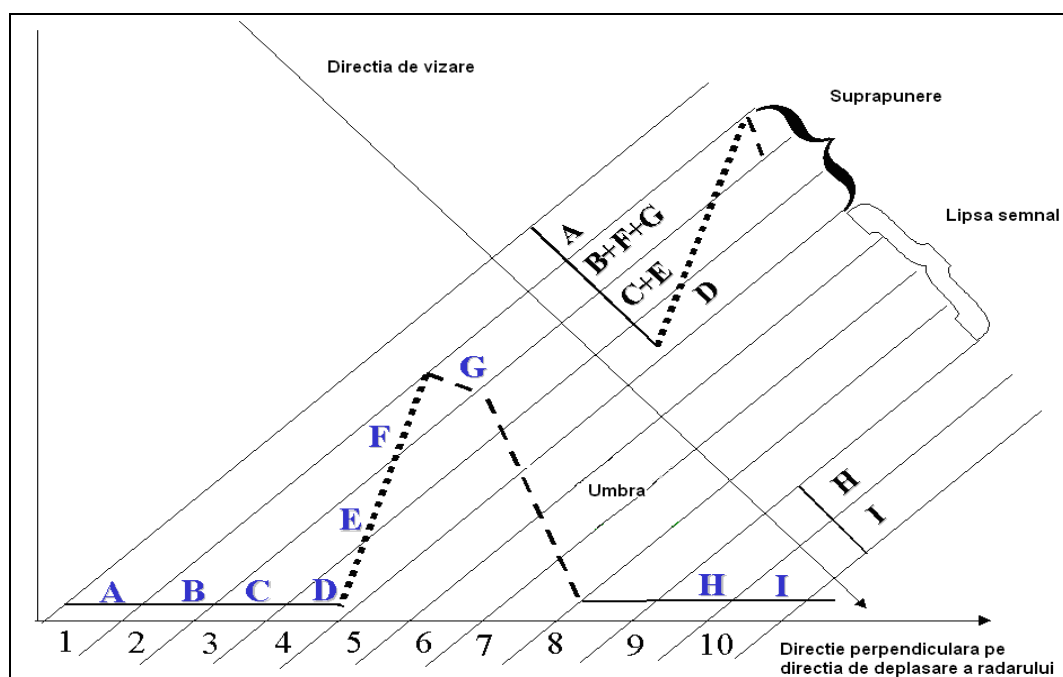


Fig. 31 Suprapunerea și umbrirea semnalului în imaginile radar

Așa cum s-a mai arătat, sistemele de teledetecție care operează în domeniul microundelor sunt caracterizate atât prin lungimea de undă  $\lambda$  cât și prin frecvență  $\Phi$ .

Tabelul 3. Intervalele de bandă utilizate în tehnologia radar

| Interval de bandă | Lungimea de undă (cm) | Frecvența (GHz) | Utilizare                                                                                                 | Platforma                                                                   |
|-------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| banda Ka          | 0,75 – 1,10           | 26,5-40,0       | Sisteme radar meteorologice și pentru arheologie                                                          | terestra<br>Aeriană (RAMSES)                                                |
| banda K           | 1,10 – 1,67           | 18,0–26,5       | Sisteme radar meteorologice                                                                               | Terestre si aeropurtate                                                     |
| banda Ku          | 1,67 – 2,40           | 12,5–18,0       | Sisteme radar aeropurtate                                                                                 | aeriană                                                                     |
| banda X           | 2,40 – 3,75           | 8,0–12,5        | recunoaștere militară ; pentru cartografierea terenului                                                   | aeriană<br>satelitară: TerraSAR-X<br>Cosmo Sky                              |
| banda C           | 3,75 – 7,50           | 4,0 – 8,0       | utilizată în special de sistemele radar aeropurtate pentru studii de cercetare și de sistemele satelitare | aeriană: CCRS<br>Convair-580, NASA<br>AirSAR<br>satelitară:<br>ERS-1, ERS-2 |

|         |              |           |                                                                    |                                                              |
|---------|--------------|-----------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|         |              |           |                                                                    | RADARSAT 1, 2 și 3, SRTM                                     |
| banda S | 7,50 – 15,00 | 2,0 – 4,0 | utilizată de sistemele radar satelitare                            | satelitară: ALMAZ                                            |
| banda L | 15,00– 30,00 | 1,0 – 2,0 | utilizată de sistemele radar aeropurtate și satelitare             | aeriană: sistemul NASA<br>satelitară: SEASAT, JERS-1<br>ALOS |
| banda P | 30,00– 100,0 | 0,3 – 1,0 | sistemele radar aeropurtate pentru experimentele de cercetare NASA | aeriană: sistemul NASA-JPL AirSAR, GeoSAR, AES-3             |

## 5.2. Procesarea și analiza imaginilor

Imaginile satelitare conțin mult mai mult decât poate percepe în mod natural ochiul uman prin observare directă. În funcție de sensibilitatea atent proiectată a detectorilor (în vizibil, infraroșu sau microunde) au fost predefinite, iar apoi perfecționate în timp, mijloacele de analiză care permit extragerea informațiilor „ascunse”. De fapt, ceea ce ne interesează este conținutul spațial al imaginii caracterizat prin măsurarea reflectanței corespunzător pragurilor spectrale specifice fiecărui instrument în parte.

În acest capitol, vom încerca să prezentăm în mod cât mai succint aspecte importante privind procesarea imaginilor, începând cu descrierea modului de vizualizare și a principiilor de utilizare a imaginilor în format analogic.

### 5.2.1. Vizualizarea imaginii

Oamenii percep realitatea înconjurătoare în trei dimensiuni. Simțul vederii permite cunoașterea vizuală a obiectelor ce ne înconjoară și să le apreciem în ceea ce privește **forma, mărimea, culoarea și distanța** care ne separă de acestea. Acest fenomen, ncă neexplicat în totalitate, este rezultatul unor interacțiuni complicate între ochi și creier.

#### 5.2.1.1. Principiul vederii binoculare

Ochii sunt depărtați cu circa 6 cm (distanța interpupilară), ceea ce permite perceperea a doua imagini ușor diferite. Creierul permite fuziunea cele două imagini într-o singură imagine tridimensională care ce permite perceperea celei de-a treia dimensiuni. Aceasta capacitate de a vedea în relief este cunoscută sub denumirea de **vedere binoculară** sau **vedere stereoscopică**.

Vederea monoculară nu dispune de elemente metrice precise pentru evaluarea distanțelor. Vederea în profunzime numită și vedere în relief sau vedere stereoscopică, este caracteristică vederii binoculare și se întemeiază pe faptul că în centrul vederii din creier se suprapun două imagini ale aceluiași obiect, care sunt diferențiate ca urmare a faptului că centrele de perspectivă de unde se înregistrează cele două imagini au poziții diferite în spațiu. Din punct de vedere geometric, localizarea punctelor în spațiu se face prin intersecții.

Vederea este un fenomen complicat, care nu trebuie luat în considerare numai din punct de vedere anatomic. Ca și în cazul celorlalte simțuri, în cazul percepției vizuale avem de-a face cu

un proces care se realizează pe scoarța cerebrală care este o suprafață de recepție, pe care se proiectează excitațiile venite din mediul extern și intern.

În plan orizontal, câmpul vizual al ochiului se întinde circa 100 de grade de partea opusă nasului și 50 de grade de partea nasului, iar în plan vertical câmpul vizual acoperă 130 de grade.

Imaginea perspectivă a obiectelor din natură se formează tot ca o perspectivă pe retină. Procesul de formare a imaginii pe retină este comparabil cu procesul formării imaginii pe pelicula fotografică. Ochiul înregistrează imaginile sub forma unor perspective cu centrul în cristalin. De aceea, vederea monoculară înregistrează elemente metrice efective doar pentru contururi și direcții, nu și pentru profunzimi. Totuși, prin vedere monoculară se poate discrimina poziția relativă a obiectelor în profunzime, dar aceasta se datorează obișnuinței și experienței referitoare la aprecierea acoperirilor și tonalităților specifice.

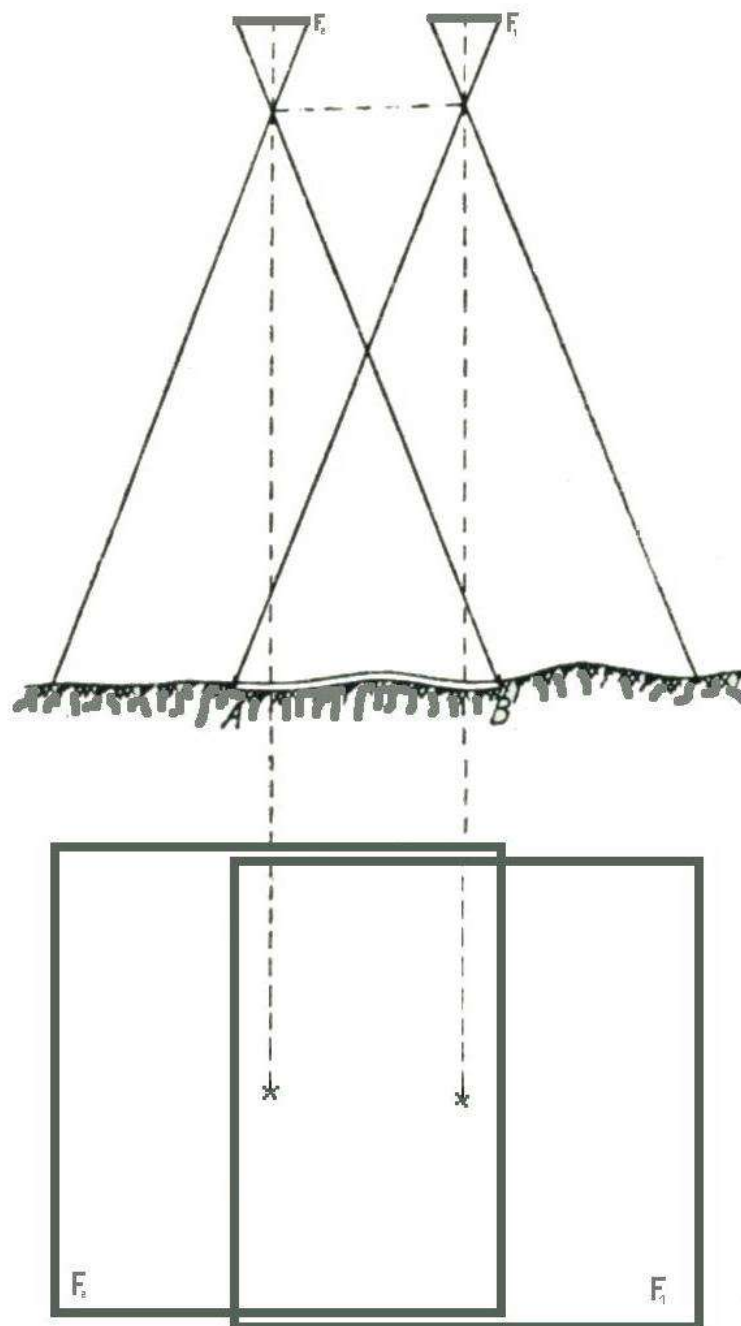
În momentul în care este obținută fuziunea binoculară, este realizată percepția vizuală a spațiului în trei dimensiuni. Cercetând permanent detaliile pe care le are în față observatorul ajunge să perceapă diferențe foarte mici atât lateral cât și în profunzime. În aceasta constă vederea binoculară naturală, sau efectul stereoscopic natural. Acest efect stereoscopic reprezintă aportul considerabil de informații în legătură cu mediul înconjurător pe care îi aduce vederea binoculară.

#### *5.2.1.2. Efectul stereoscopic în fotogrametrie*

Imaginile plane (desene, fotografii, filme, desenele) de pe ecranul computerului pot fi manipulate prin tehnici speciale pentru a crea iluzia de înălțime, respectiv (adâncime). Avem impresia că obiectele observate “cresc” din hârtie, film sau ecran. Efectul stereoscopic are loc în momentul în care zona de acoperire (suprapunere) a două fotograme succesive este privită astfel încât fiecare ochi să observe fotograma corespondentă. Operatorii experimentați au capacitatea de a obține efectul stereoscopic fără a utiliza un aparat de stereorestituție.

Instrumentele clasice de restituție stereofotogrametrică sunt construite, cu mici excepții, pe principiul separării imaginilor prin sisteme optice constituite din lentilele, prisme și oglinzi.

Pentru a fi percepută ca o singură imagine o stereogramă (cuplu stereoscopic) trebuie să fie observată cu ajutorul unui instrument care permite vizualizarea fotogramei cu ocularul corespunzător ochiului drept, respectiv fotogramei din stânga cu ochiul stâng. Creierul recepționează fiecare imagine separat și le integrează într-o singură imagine tridimensională (în relief).



**Fig. 32 Cuplul stereoscopic**

Efectul stereoscopic are loc în momentul în care zona de acoperire (suprapunere) a două fotograme succesive este privită astfel încât fiecare ochi să observe fotograma corespondentă. Cele două. fotograme trebuie privite separat, adică. cu ochiul din stânga trebuie privită fotograma din stânga iar cu ochiul din dreapta, fotograma din dreapta. Operatorii experimentați au capacitatea de a obține efectul stereoscopic fără a utiliza un aparat de stereorestituție.

În practică, efectul stereoscopic poate fi realizat, de asemenea, prin folosirea filtrelor optice pentru observarea perspectivelor centrale plane cele două procedee cu aplicare largă fiind anaglifele și polarizarea luminii.

### 5.2.1.3. Anaglifelile

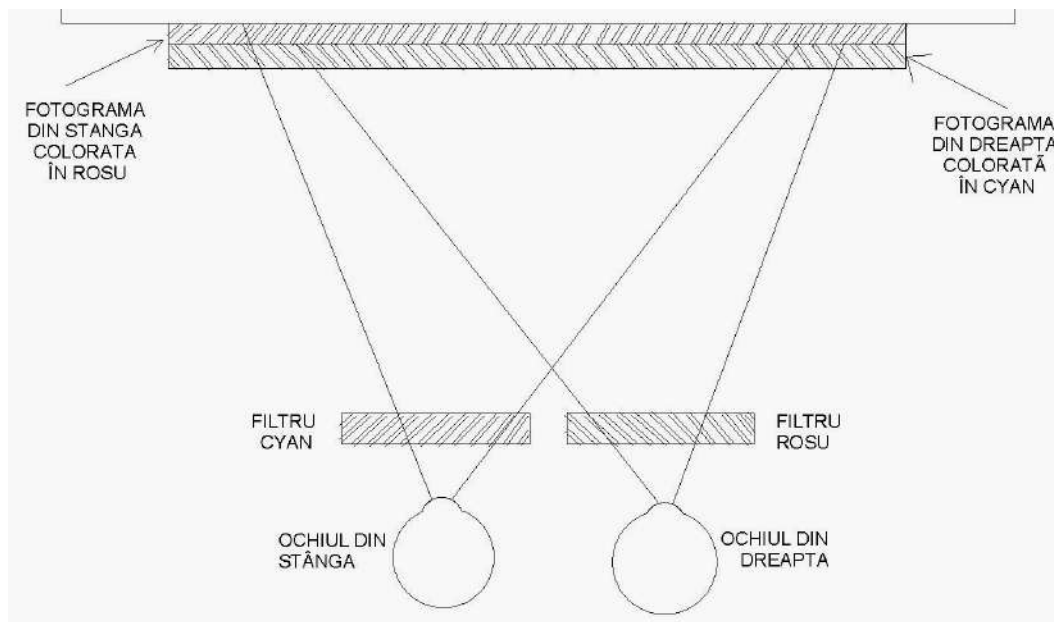
Imaginile plane (desene, fotografii, filme) sau afișate pe ecranul computerului pot fi manipulate prin tehnici speciale pentru a crea iluzia de înălțime, respectiv (adâncime). Avem impresia că obiectele observate “cresc” din hârtie, film sau ecran.

Procedeul acesta folosește o particularitate a culorilor complementare (atunci când fiecare culoare este formată din amestecul tuturor culorilor spectrale care nu sunt cuprinse în cealaltă).

O anaglifa se obține prin fotografierea suprapusă a ambelor fotograme ale cuplului în culori complementare pe un fond alb. Culorile complementare cel mai des folosite sunt roșu și cyan. Dacă anaglifa este privit cu ochelari prevăzuți cu lentile colorate în culori complementare, prin substrația culorilor se obține efectul stereoscopic.

Explicația fenomenului de separație a imaginilor este următoarea :

- lentila roșie a ochelarilor va fi străbătută numai de componenta roșie a luminii, astfel că fondul alb al hârtiei va fi perceput în roșu ;
- detaliile fotogramei redată în roșu se vor dizolva în fondul roșu ;
- detaliile fotogramei în culoarea complementară roșului (cyan) vor fi percepute în negru ;
- lentila cyan a ochelarilor va fi străbătută numai de componenta cyan a luminii, astfel că fondul alb al hârtiei va fi perceput în cyan ;
- detaliile fotogramei redată în cyan se vor dizolva în fondul cyan ;
- detaliile fotogramei în culoarea cyan vor fi percepute în negru..



**Fig. 33 Principiul anaglifelor**

Pentru realizarea unui model stereoscopic procedeul culorilor complementare folosește tocmai această particularitate, cele două perspective centrale fiind colorate fiecare în parte în culoarea complementară celeilalte.

Pentru obținerea unei anagliffe se utilizează două reprezentări (fotografice sau tipografice) ale aceluiași subiect, una în cyan (albastru-verzui), cealaltă în roșu; le suprapunem pe hârtie

fotografică (sau le imprimăm) cu un foarte mic decalaj așa încât observatorul, utilizând ochelari cu o lentilă (cyan), iar alta roșie, vede apărând subiectul în relief, culorile dispărând. Lentila roșie filtrează imaginea cyan și astfel numai imaginea roșie trece prin lentilă, respectiv lentila cyan filtrează culoarea roșie lăsând să treacă numai culoarea cyan.

Ca urmare, ochiul stâng va percepe într-o tonalitate negricioasă numai perspectiva din stânga, iar ochiul drept va percepe în această tonalitate negricioasă numai perspectiva din dreapta. Cu aceasta este realizată condiția stereoscopiei artificiale și anume ca fiecare ochi în parte să vadă numai câte o perspectivă centrală a aceluiași obiect. Creierul recepționează două imagini diferite și le combină pentru a rezulta o imagine virtuală tridimensională. Mai precis, anaglifelile reprezintă un procedeu fotografic care utilizează culori și filtre corespondente pentru a crea iluzia reliefului în filme, fotografii sau ilustrații.

Anaglifelile se pretează unei procesări pe calculator chiar și atunci când operatorul este mai puțin experimentat. Principiul de lucru se bazează afișarea pe monitor în mod alternativ, cu o frecvență suficient de mare, a fotogramei alb-roșu din stânga și a fotogramei alb-verde din stânga.

Brevetul procesului de realizare a fotografiilor anaglifelor a fost obținut în 1891 de francezul Louis Ducos du Hauron, iar în 1903 frații Louis și Auguste Lumière, pionierii filmului, au făcut demonstrații cu un film realizat pe acest principiu.

#### *5.2.1.4. Imagini tridimensionale polarizate*

Fizicianul scoțian David Brewster (1781-1868) a descoperit că lumina este polarizată prin reflexie. Lumina obișnuită se propagă prin oscilații electromagnetice transversale în toate planurile, iar lumina polarizată se propagă prin aceleași oscilații dar numai într-un singur plan transversal. Pentru a obține lumină polarizată se utilizează cristale polarizatoare. În cazul în care în calea unei raze de lumină polarizată se interpune un cristal identic (numit analizor) cu cel folosit la polarizare (numit polarizor) se constată că prin rotirea sa intensitatea luminoasă scade până la reducerea totală.

Atunci când stereogramele se proiectează prin polarizori poziționați în planuri perpendiculare și se privesc prin ochelari prevăzuți cu analizori situați, de asemenea, în planuri perpendiculare, se obține efectul stereoscopic. Practic, fiecare din ochi va vedea câte o singură fotogramă.

Sistemul de filmare Polaroid realizat de inventatorul american Edwin Herbert Land se bazează pe utilizarea a două camere de filmare sau a unei camere cu dublu obiectiv. În cinematografele cele două filme sunt proiectate simultan. Un filtru de polarizare atașat în fața proiecteurului din stânga orientează undele de lumină într-un plan, în timp ce un alt filtru situat în fața proiecteurului din dreapta orientează lumina într-un plan perpendicular. Observatorii poartă ochelari cu lentile de polarizare gri care orientează undele de lumină ca și filtrele proiectoarelor. Acestea permit ca ochiul stâng al observatorilor să vadă numai imaginea de la proiecteurul din stânga iar ochiul din dreapta numai imaginea provenită de la proiecteurul din dreapta. Creierul primește aceste două imagini care fuzionează și le compune într-o imagine tridimensională. Prima demonstrație a fost făcută în 1939 la Expoziția Mondială de la New York.

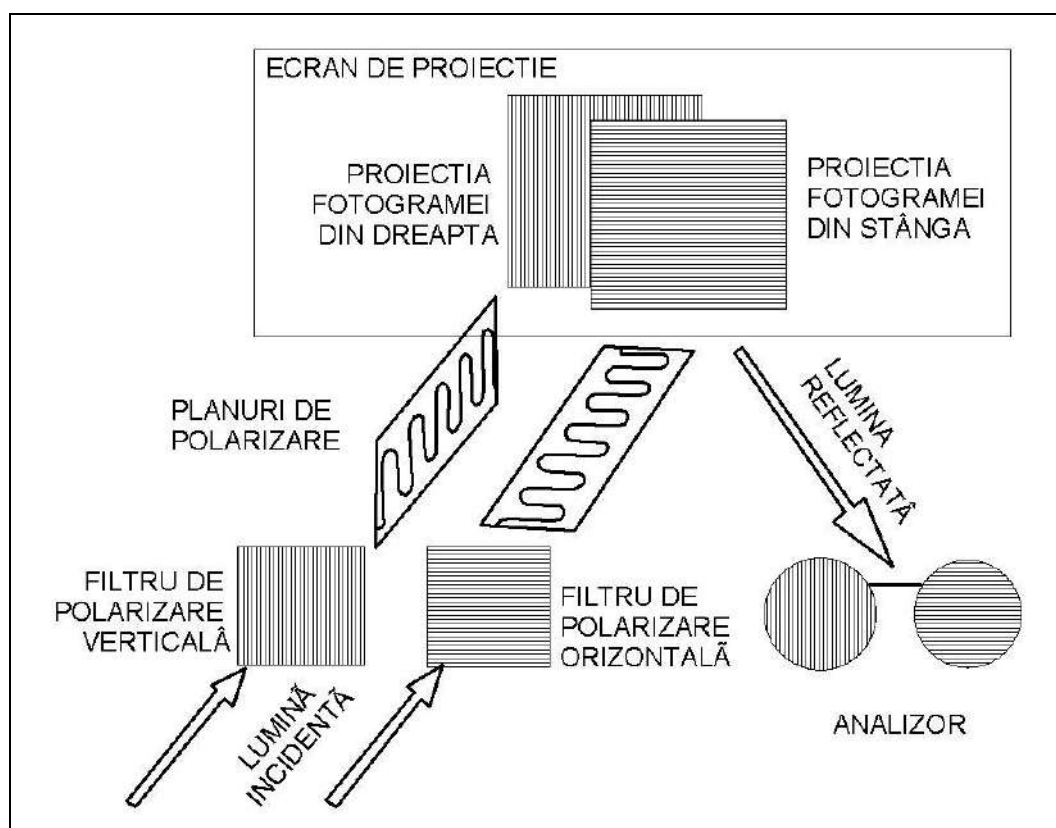


Fig. 34 Utilizarea polarizării în fotogrametrie

O altă posibilitate de obținere a efectului stereoscopic se bazează pe principiul alternanței (scintilațiilor) imaginilor. Separarea imaginilor este generată prin proiectarea lor, succesiv, cu o frecvență de cel puțin 15 imagini pe secundă. Succesiunea imaginilor este privită printr-un dispozitiv de obturare succesivă a celor doi ochi sincron cu proiectarea fotogramelor. Această soluție a fost adoptată pentru a construi aparate de stereorestituție, iar mai de curând a sistemelor computerizate de fotogrametrie digitală, fără a uita aplicațiile specifice jocurilor tridimensionale pe calculator.

Trebuie amintit faptul că, încă din 1971, publicul canadian a avut acces la tehnologia „ImageMAXimum” care se bazează pe utilizarea unor instalații sofisticate alcătuite din proiectoare cu deplasare orizontală a peliculei și suprafețe de reflexie poziționate cu ajutorul unor algoritmi specifici, camere de filmat speciale care înregistrează din două poziții mișcările aceluiași element filmat, ecrane cu dimensiuni considerabile, obținerea efectelor tridimensionale fiind condiționată de construirea unor săli care permit o vizibilitate perfectă a întregului ecran de către toți spectatorii. Vederea periferică a observatorului fiind acoperită în întregime, acesta are senzația poziționării sale în mijlocul acțiunii filmului.

În anul 1997 compania canadiană sistemul de proiecție IMAX 3D SR care a permis utilizarea tehnologiei în multiplexuri obișnuite.

În procedeul clasic, filmarea se efectuează cu ajutorul unei camere cu formatul peliculei 69,6mm x48,5 mm, cu o frecvență de 24 cadre pe secundă ceea ce permite creșterea clarității și luminozității imaginii obținute.

Atunci când a apărut această tehnologie, prelucrarea materialului filmat brut se făcea prin scanare de foarte înaltă rezoluție, cadru cu cadru, după care fiecare „fotogramă” era corectată. Materialul brut îmbunătățit este reînserat într-o nouă peliculă sau, mai nou, stocat pe un hard-disk de tip IMAX HD. Proiecția se face cu ajutorul unui aparat cu obiectiv dual iar observarea (vizionarea) se efectuează prin ochelari cu polarizare sau ochelari electronici de tip „shutter” cu cristale lichide.

#### *5.2.1.5. Autostereogramele*

O auto-stereogramă este o imagine stereoscopică pentru vizualizarea căreia nu este nevoie să se utilizeze instrumente speciale din categoria stereoscopului sau ochelarilor stereoscopici. Printre cele mai cunoscute produse de acest fel pot fi enumerate imaginile lenticulare, hologramele, dar și imaginile generate pe computer prin așa numitele procedee 3-D.

#### *5.2.1.6. Imagini lenticulare*

Tehnologia lenticulară a fost folosită în anii 1960 pentru a produce imagini tridimensionale cu scene religioase sau vederi. Această tehnologie este utilizată și pentru a realiza iluzia mișcării pe imagini plane. O imagine lenticulară este o compoziție a două imagini sursă ale aceluiași obiect văzute din direcții ușor diferite. Imaginile sursă sunt tăiate în fâșii extrem de înguste care sunt unite, sau alternate, apoi acoperite cu un strat de plastic structurat în striatii și șanțuri. Efectul 3-D sau de mișcare este obținut prin întreteserea a două secvențe ale mișcării unui obiect în mișcare. Imaginea compozit este acoperită cu un strat (ecran) lenticular din plastic care îndreaptă fiecare imagine sursă către un ochi, așa încât observatorul să schimbe unghiul de vedere prin bascularea videogramei.

### **5.3. Caracteristicile imaginilor digitale de teledetecție**

Imaginea digitală este compusă din puncte cărora le sunt asociate valori care descriu parametri semnificativi referitori la suprafața terestră :

- **reflectivitatea radiației elector-magnetice,**
- **emisivitatea obiectelor,**
- **temperatura de suprafață,**
- **conținutul de vapori de apă,**
- **elemente topografice de altitudine**

Fiecărui pixel îi este asociat un număr (cuantă) care descrie radiația medie a obiectului sau părților de obiecte care se regăsesc în suprafața de teren corespunzătoare pixelului respectiv. Acest număr reprezintă un nivel de gri, iar valorile atribuite sunt etalate de la 0 la 255, adică 256 de valori (în cazul informației codate pe 8 biți).

Cu cât suprafața acoperită de un pixel este mai mică cu atât peisajul este păstrat și reprezentat cu mai multă precizie (din punct de vedere geometric). De fapt, aceasta arată că dimensiunea scăzută a pixelului are ca efect reproducerea mai precisă a elementelor din natură



Fiecare celulă (denumită în limbaj informatic pixel) este identificată cu ușurință printr-o referință imagine unică (linie/coloană). Pe lângă coordonatele imagine, reprezentarea tip raster conține și o valoare numerică ce poate fi după caz: valoarea radiometrică (pentru imaginile de teledetecție), nivelul de gri pentru imaginile scanate, sau, în cazul imaginilor clasificate, un cod numeric corespunzător unui atribut descriptiv.

Suprafața de teren care este acoperită de un pixel din imagine, aferentă mărimii celor mai mici obiecte identificabile cu mijloacele tehnice respective, caracterizează imaginea din punct de vedere al rezoluției.

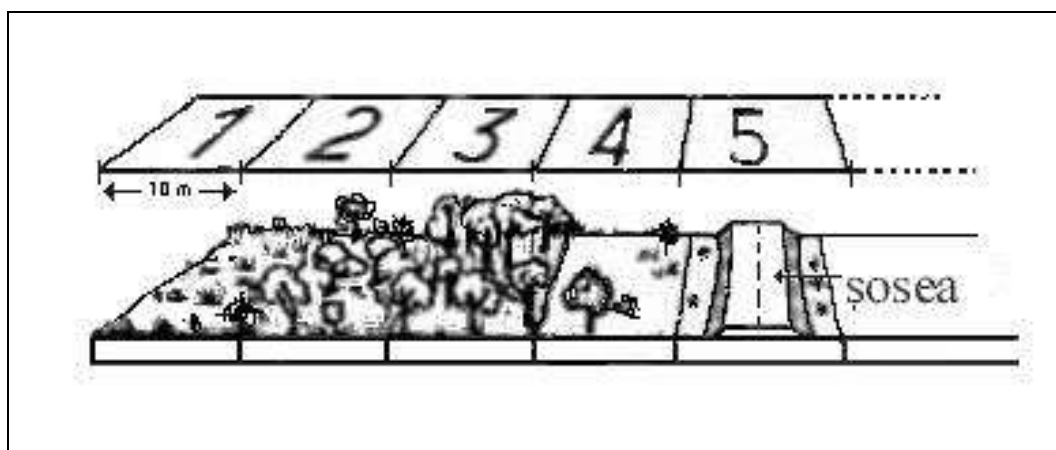


Fig. 35 Corespondența teren-imagine (după Leo și Dizier)

Nu înseamnă, însă, că fiecărui pixel îi corespunde un singur obiect deoarece distribuția areală implică cumulara la nivelul detectorului a mai multor semnale cu proprietăți diferite: căi de comunicații, păduri, sol descoperit, vegetație de talie mică, etc. (Fig.17). Aceasta înseamnă că datele de teledetecție trebuie folosite numai până la nivelul de precizie proiectat, adică rezoluția imaginii să corespundă preciziei impuse la scara planului sau hărții.

Imaginile provenite de la sateliții de teledetecție pun la dispoziție o cantitate mare de informație, de obicei suficientă, pentru a putea produce un document cartografic complet.

Relațiile spațiale dintre obiectele din imagine sunt implicite, conectivitatea fiind o proprietate inerentă a acestui mod de reprezentare.

Integrarea informațiilor cosmice în sistemele informaționale este tentantă și necesară dar realizarea acestui deziderat nu se face fără probleme. Într-adevăr, soft-ware-ul pentru procesare de imagini și Sistemele Informaționale Geografice s-au dezvoltat în direcții diferite, dar, în ultimii ani, datorită progresului industriei hard marii producători au fost capabili să depășească bariere care păreau insurmontabile.

#### 5.4. Operațiuni pregătitoare efectuate asupra imaginilor de teledetecție

Trecerea de la fotogrametria clasică la teledetecție a fost făcută odată cu apariția filmul color (în culori naturale) și mai ales a filmelor fals color în infraroșu, materiale fotosensibile care au permis diversificarea aplicațiilor fotografiei aeriene. Având sensibilitatea în afara celei specifice ochiului uman, filmul infraroșu este capabil să produce imagini ale energiei invizibile reflectate care este foarte utilă pentru obținerea de informații despre viața plantelor.

Mai apoi, utilizarea computerelor a permis un nou mod de exploatare a fotogramelor aeriene, procesarea digitală permițând extinderea plajei de informații pe care acestea le pot furniza.

Chiar și în condițiile cuceririlor tehnologice din domeniu, nu trebuie uitat faptul că interpretarea vizuala este limitată la benzile spectrale vizualizate în imagine, adică o singura banda pentru reprezentarea alb/negru și la trei benzi pentru o imagine color.

Ținând seama de caracteristicile de baza ale senzorilor și de parametrii orbitali specifici deplasării platformelor pe care aceștia sunt amplasați, datele digitale de teledetecție trebuie să facă obiectul unor prelucrări primare specifice care fac parte din categoria calibrărilor geometrice și radiometrice (datorate influenței atmosferei). Aceste prelucrări preliminare realizate la sol după recepția datelor iau ca scop corectarea erorilor sistematice din lanțul de achiziție. Pentru a explicita aceste operațiuni, ansamblul acestor prelucrări poate fi ierarhizat astfel:

a) Transformările radiometrice - necesare pentru corectarea erorilor datorate captorilor și variabilității caracteristicilor mediului (atmoferei) cât și pentru calibrarea și etalonarea absoluta a datelor în scopul restabilirii balanței energetice așa cum aceasta a fost măsurată la nivelul senzorului.

b) Transformările geometrice – obligatorii pentru corectarea distorsiunilor geometrice introduse de sistemul de colectare a datelor sau pentru cerințe speciale ale utilizatorului.

Aceste operațiuni sunt obligatorii pentru a putea corecta erorile și limitările specifice sistemului de senzori, pentru a diminua efectele atmosferice, dar și pentru a corecta și adapta geometria imaginii astfel încât, ulterior, în faza de utilizare, aceasta să poată fi integrată într-un sistem informațional prin utilizarea unor parametri geografici compatibili cu sistemul cartografic stabilit de utilizator.

Numai după îndeplinirea acestor condiții, se poate trece la analiza și interpretarea corectă a datelor în vederea extragerii pe baza clasificării a informațiilor tematice corespunzător fiecărui domeniu de utilizare. În acest scop au fost elaborați algoritmi specifici, metodele folosite în acest sens fiind împărțite în doua mari categorii:

a) Metode nesupervizate automate

b) Metode supervizate bazate pe extragerea de trasatori, crearea unor seturi de instruire, utilizarea unor funcții discriminant (nori dinamici, grupări de tip clustering), aplicarea principiului verosimilității maxime.

## 5.5. Analiza imaginilor

Toate domeniile de activitate care au ca obiect identificarea și cunoașterea caracteristicilor suprafeței terestre beneficiază, după ce au trecut câteva decenii de la lansarea primului satelit civil de teledetecție, de informații inaccesibile până la apariția și punerea în aplicare a tehnicilor moderne de teledetecție. În practică, prelucrarea imageriei multispectrale se bazează pe analiza caracteristicilor spectrale și spațiale ale obiectelor omogene având ca scop identificarea obiectelor de pe suprafața Pământului și interpretarea semnificației pe care aceste obiecte o au în contextul peisajului din care fac parte.

Prelucrarea statistică a imaginilor multispectrale permite obținerea informațiilor necesare stabilirii claselor de obiecte care interesează un domeniu sau altul ținând însă seama că în cadrul procesului tehnologic se apelează în primele etape la prelucrări relativ simple monocanal, urmând ca pentru clasificările de detaliu să se aplice metodele digitale multicanal.

Prin analiză logică, informațiile conținute de imaginile de teledetecție sunt detectate, identificate, clasificate prin măsurarea și evaluarea obiectelor naturale și antropice din punct de vedere al:

- **semnificației fizice,**
- **trăsăturilor/structurilor (en. pattern),**
- **relațiilor spațiale cu vecinătățile.**

### 5.5.1. Izolarea plajelor de valori într-un domeniu monospectral

#### 5.5.1.1. Histograma

Histograma este un grafic (diagramă) care reprezintă prin dreptunghiuri o distribuție statistică (matematică), sau, altfel spus construit dintr-un sistem ortonormat din dreptunghiuri care au ca bază amplitudinea unei clase de elemente similare.

Histograma este un instrument grafic folosit în statistica descriptivă cu ajutorul căruia este vizualizată o distribuție de frecvență. Distribuția de frecvență are ca semnificație numărul de evenimente statistice pe clase (grupe) de evenimente. Într-o histogramă clasele reprezintă intervale de numere reale separabile prin proprietăți ale subiectelor analizate. Pe axa orizontală se înserează punctele de separare între clase, iar pentru fiecare clasă se ridică pe direcția verticală un dreptunghi cu înălțimea proporțională cu frecvența de apariție (absolută sau relativă) a clasei respective.

În figura următoare este exemplificată frecvența de apariție pentru șase evenimente (clase) reprezentate prin valori (1, 2, ..., 6) unice (absolute). Astfel, clasa 1 apare de 22 ori, clasa 2 de 10 ori, clasa 3 de 41 de ori, clasa 4 apare de 20 de ori, clasa 5 de 30 ori, iar clasa 6 de 16 ori.

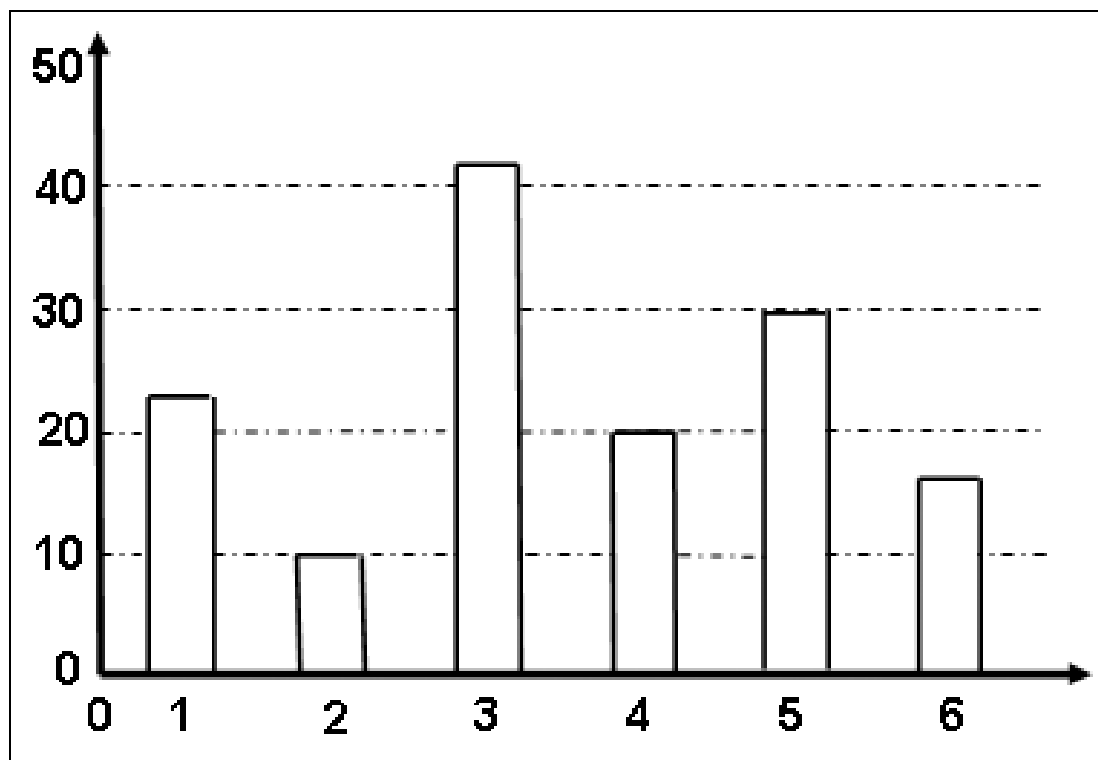


Fig. 36 Histograma simplă reprezentând prezența unor obiecte definite prin valori unice

În practică, limitările de rezoluție spectrală și/sau geometrică ale imaginilor de teledetecție nu permit separarea strictă prin praguri absolute a două clase vecine din punct de vedere radiometric. În cazul teledetecției, trebuie ținut seama de faptul că subiectele sunt obiecte/fenomene caracterizate printr-o variabilitate specifică peisajului analizat influențată în foarte mare măsură de condițiile mediului natural în momentul înregistrării.

Cu ajutorul figurii de mai jos se exemplifică frecvența de apariție a unor valori de gri (a), a căror distribuție este aproximată printr-o funcție normală de densitate a probabilității (b) pentru o funcție unimodală (care are un singur maxim, adică acea clasă este uniformă). Clasele de obiecte care au funcții de probabilitate multimodale (este cazul obișnuit care caracterizează imaginile de teledetecție) nu pot fi approximate prin funcții de densitate normală. Acestea din urmă sunt exemplificate prin vizualizarea unui caz de bimodalitate (c) în care două obiecte/fenomene sunt separate pe baza unor reguli de discriminare predefinite (d). Se observă faptul că există un interval de incertitudine a discriminării care trebuie analizat cu atenție pentru a evita confuziile privind apartenența la una din clasele predefinite.

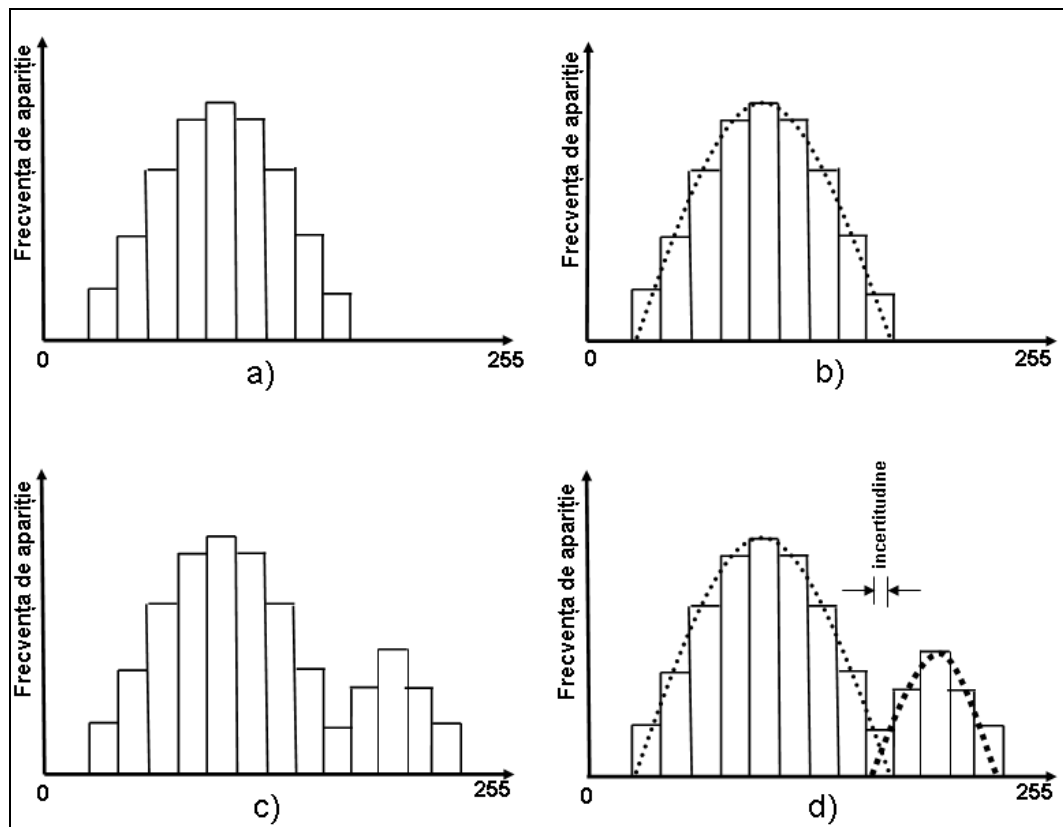


Fig. 37 Histograme unimodale și bimodale

Acesta este și motivul pentru care, în procesarea datelor satelitare, histogramele reprezintă frecvența de apariție a valorilor radiometrice ale pixelilor care compun o imagine exprimată prin nivele de gri corespunzătoare plajelor de valori specifice modului de codificare a informației (de exemplu 2, 8, 16, 24, 32 ...). O clasă este identificată prin gruparea valorilor vecine care definesc cel mai corect obiectele/fenomenele respective.

În unele cazuri, este posibil să se separe o clasă de obiecte printr-o simplă operațiune de izolare de valori digitale într-o singură bandă spectrală acționând asupra histogramei prin stabilirea unor praguri limită.

În practica procesării de imagini de teledetecție, pot fi generate histograme pentru a estima funcțiile de probabilitate pentru fiecare clasă. Astfel, este posibilă utilizarea acestora pentru repartizarea datelor similare cu identitate necunoscută, pe baza măsurătorilor spectrale, în clase distincte.

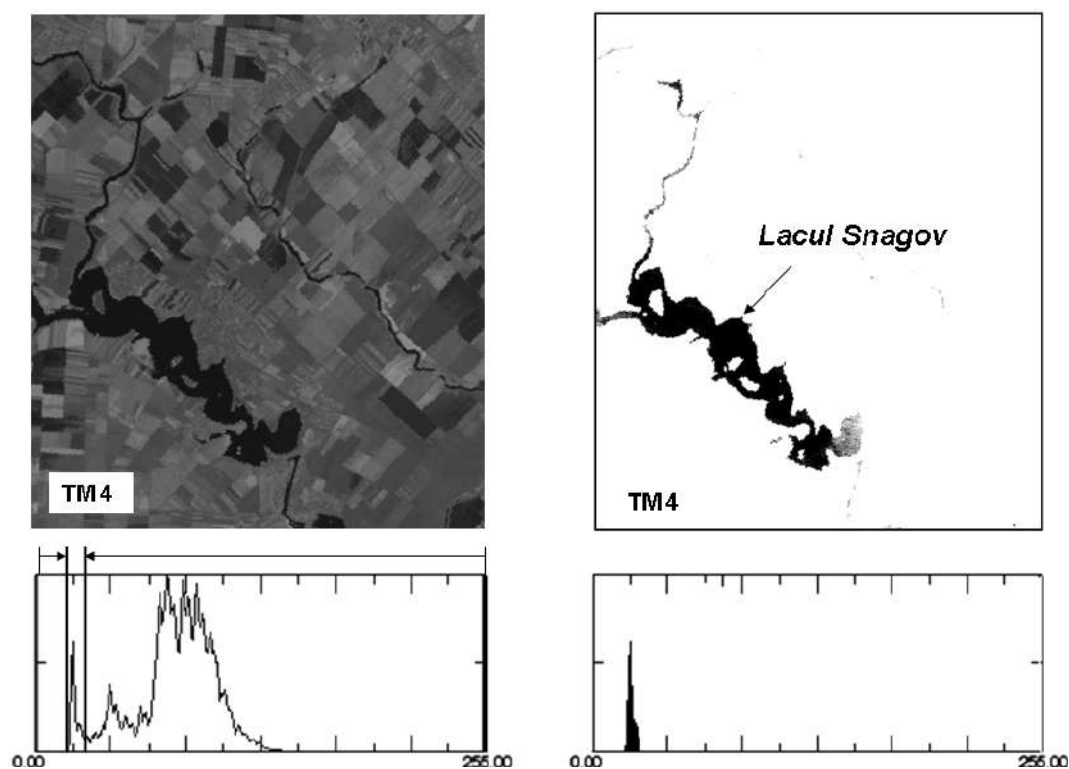


Fig. 38 Imaginea inițială și stabilirea pragurilor de separare pe histogramă (stânga) și rezultatul procesării (dreapta)

În figura de mai jos este reprezentată printr-o grafică simplificată operațiunea de separare a claselor. Cazul teoretic prezentat arată cum pot fi separate clasele pe baza unor reguli de decizie care utilizează praguri de delimitare a semnificativității pixelilor în contextul unei imagini monocanal pentru care se presupune aplicabilitatea unor funcții cu distribuție normală a probabilității.

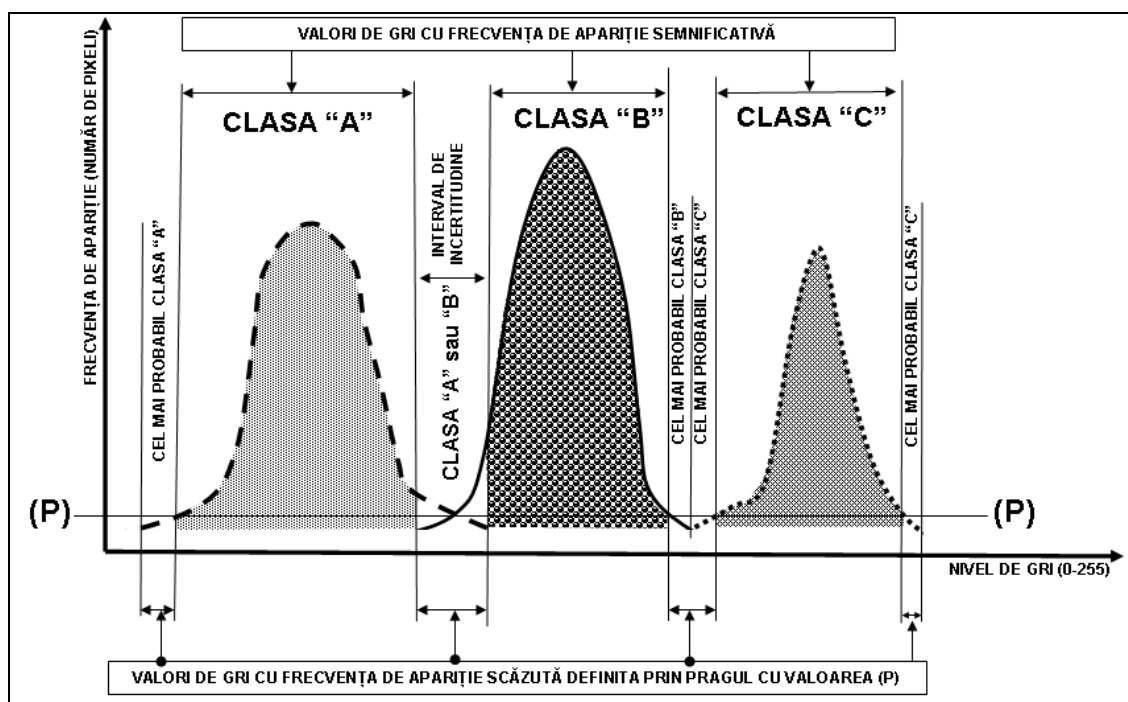


Fig. 39 Separarea claselor

## 5.6. Clasificarea

Este evident faptul că dezvoltarea calculatoarelor și a algoritmilor specifici a facilitat dezvoltarea unor aplicații informatice complexe orientate către **clasificarea imaginilor digitale**. Aceste programe trebuie să fie, totuși, manipulate de utilizatori cu o experiență considerabilă în domeniul interpretării datelor imaginii. Prin **analiză vizuală** operatorii experimentați pot să identifice caracteristici ale obiectelor și atributele spațiale ale acestora corelând aceste deducții prin asocieri logice cu trăsăturile obiectelor învecinate.

Din acest motiv, cele două metode de analiză (clasificarea digitală și analiza vizuală) sunt considerate ca fiind complementare și numai prin utilizare sinergică pot fi valorificate valențele de performanță ale suportului hard/soft pentru a produce clasificări corecte cu un nivel de precizie potrivit intenției de utilizare. De fapt, pregătirea pentru realizarea clasificării supervizate se face prin analiză vizuală.

### 5.6.1. Clasificarea imaginilor

Clasificarea este procesul de sortare a pixelilor care grupează elementele unui imagini într-un număr finit de clase individuale.

Atunci când se efectuează o clasificare se pornește de la următoarele certitudini:

- există o relație bine definită între imagini preluate la date diferite ale aceleiași suprafețe de teren,
- există o relație spațială între pixeli învecinați,
- *răspunsul spectral al obiectelor este același în condiții identice de preluare (data de achiziție, stare atmosferică identică,...*

### 5.6.2. Forme ale clasificării

În practica procesării de imagini sunt cunoscute următoarele forme ale clasificării :

- clasificarea spectrală,
- recunoașterea formelor,
- analiza texturilor,
- detectarea schimbărilor

Obiectivele clasificării pot fi rezumate astfel:

- detectarea diferitelor trăsături ale obiectelor/peisajului conținute de imagine,
- discriminarea formelor și amprentelor spațiale ale obiectelor/fenomenelor,
- identificarea schimbărilor temporale cu ajutorul imaginilor.

### **5.6.3. Operațiuni de pregătire a analizei**

Pentru a trece la clasificare se consideră că toate etapele pregătitoare (preprocesare și corectare) sunt îndeplinite:

- corecțiile atmosferice,
- eliminarea zgomotului de fond,
- combinări de benzi spectrale,
- Analiza în Componente Principale (ACP)

### **5.6.4. Clasificarea spectrală**

Clasificarea spectrală are ca scop cartografierea obiectivă a arealelor din imagine care au caracteristici radiometrice (reflectanță și/sau emisivitate) similare.

În funcție de scop, dar și de precizia impusă, se utilizează două tipuri de clasificare :

- nesupervizată (realizată automat prin mijloace statistice)
- supervizată (clasele spectrale sunt asociate unor trăsături identificate prin fotointerpretare pe imagine)

Clasificarea digitală este un proces semiautomat cu ajutorul căruia este posibilă delimitarea unor grupări de pixeli cu caracteristici similare. Spre deosebire de clasificarea nesupervizată prin care grupările de obiecte sunt definite automat exploatând principiul “aglomerării” statistice a valorilor pixelilor, clasificarea supervizată este realizată în două etape distincte. În faza inițială, analistul definește grupurile ce urmează să fi extrase din imaginea analizată stabilind așa numite poligoane de instruire (în engleză: AoI=Area of Interest sau RoI=Region of Interest). Fiind elaborată astfel legenda, se trece la faza de calcul, operatorul având posibilitatea selectării algoritmului de clasificare.

Evoluția tehnologiilor hard și soft a permis generarea unor metode de clasificare hibrid care, prin care rezultatul clasificării nesupervizate permite separarea unor regiuni relativ omogene în interiorul cărora se aplică, diferențiat principiile clasificării supervizate.

#### **5.6.4.1. Clasificarea nesupervizată**

În cadrul acestei abordări, computerul analizează toate semnăturile spectrale ale tuturor pixelilor din imagine și identifică areale cu pixeli care au valori similare. Utilizatorul poate impune criterii de clasificare (număr de clase, număr de iterații) care să permită obținerea unor grupări omogene și diferențiate.

Metodele de clasificare automate depind în primul rând de regulile pe baza cărora pixelii unei grupări sunt alocați unei clase și exprimă omogenitatea valorilor reflectanței specifice obiectului respectiv. Este nevoie să fie folosite și proceduri bazate pe algoritmi care analizează și valorile pixelilor aflați în vecinătatea grupărilor considerate a fi omogene, în vederea repartizării acestora către clasele de obiecte deja identificate datorită omogenității lor spectrale.



Algoritmii care stau la baza clasificării automate depind în primul rând de caracteristicile spectrale ale pixelului, spre deosebire de talie, textură și formă, care sunt caracteristicile obiectelor pe care se bazează interpretarea vizuala. Aceste caracteristici de tip descriptiv sunt destul de greu de încorporat direct în algoritmii digitali de clasificare dacă nu se integrează și informații suplimentare (de exemplu vectori predefiniți).

Clasele spectrale din clasificarea nesupervizată sunt discriminate prin calcul automat bazat pe identificarea celor mai ridicate frecvențe de apariție a unei valori spectrale și prin luarea în considerație a criteriului distanței minime dintre clase.

Principalul avantaj al acestei metode este rapiditatea, utilizatorul având o intervenție limitată. Dezavantajul său principal este acela că se bazează exclusiv pe diferențele spectrale, care nu corespund întotdeauna unor obiecte și fenomene specifice peisajului analizat.

#### 5.6.4.2. Clasificarea supervizată

În clasificările supervizate, utilizatorul definește prin analiză vizuală intervalele valorilor spectrale care corespund fiecărei teme sau clase care trebuie clasificate și delimitează poligoane omogene din punct de vedere spectral (poligoane de instruire). Grupările de training sunt, de regulă, introduse prin conturarea interactiva cu ajutorul instrumentelor de desen a limitelor poligoanelor în imagine

Sistemul de calcul digital determină apoi valorile tuturor pixelilor imaginii și alocă conform unor reguli statistice (de ex. paralelipiped, verosimilitate maximă) fiecare pixel al imaginii uneia dintre clasele tematice definite de valorile zonelor de instruire corespondente. Altfel spus, într-o clasificare supervizată, pixelii imaginii sunt alocați de computer claselor spectrale care au fost definite pe baza poligoanelor de instruire reprezentând clase tematice bine cunoscute.

#### 5.6.4.3. Etapele de realizare a clasificării supervizate

Clasificarea se realizează în general prin parcurgerea a trei etape :

- Etapa de instruire (selectarea trăsăturilor care descriu cel mai bine obiectul/fenomenul)
- Decizia (selectarea metodei adecvate de comparare a elementelor de instruire)
- Evaluarea conformității clasificării

#### 5.6.4.4. Plaje (praguri) de valori în domeniul multispectral

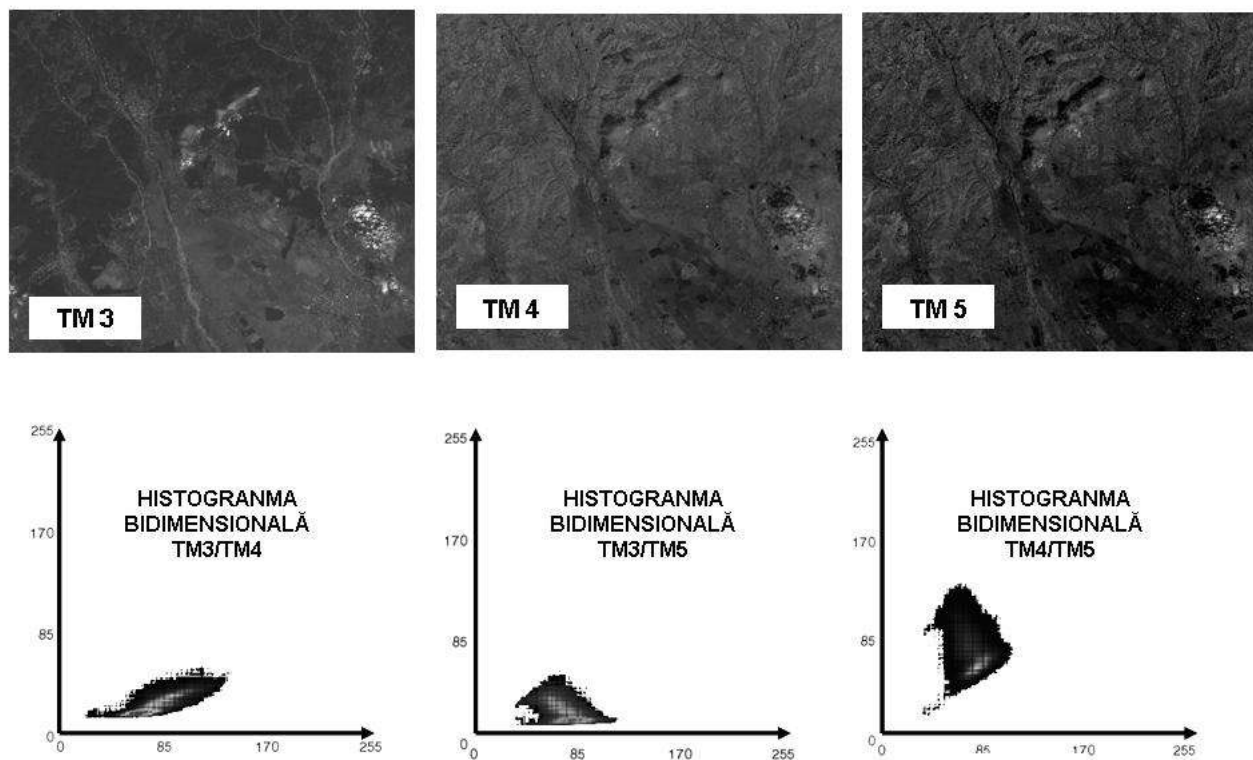
În cazul utilizării mai multor benzi spectrale se pot aplica simultan praguri specifice maxime și minime de separare corespunzător fiecăreia dintre benzile spectrale selecționate. Această operațiune uzuală în tehnica procesării imaginilor este cunoscută sub denumirea de „thresholding” spectral.

**Histograma bidimensională** este un grafic care arată numărul de pixeli care au o valoare numerică specifică fiecărei benzi spectrale.

Intervalul definit de aceste două axe se numește **spațiu spectral** în două dimensiuni.

Axa orizontală a graficului (cunoscut sub denumirea de histogramă bidimensională) reprezintă valorile numerice corespunzătoare unei benzi spectrale (valori de gri 0-255), iar axa verticală reprezintă valorile corespondente ale fiecărui pixel în parte în cea de-a doua bandă spectrală.

În statistică, histograma bidimensională se întâlnește și sub denumirea de **diagramă de dispersie** (en. *Scatterplot*).



**Fig. 40** Histograme bidimensionale aferente unei imagini Landsat TM (combinațiile 3/4, 3/5, 4/5)

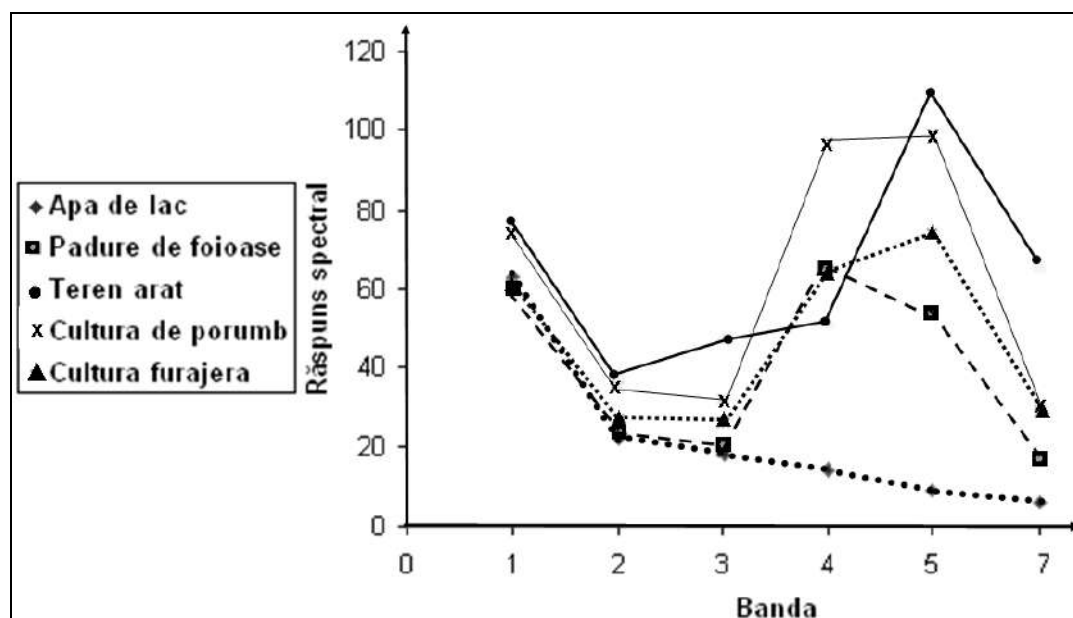
Când sunt analizate datele în trei benzi spectrale, trebuie să imaginăm un nor tridimensional de puncte proiectat pe trei fete ale unui cub definit de axele sistemului tridimensional.

Valorile numerice ale unui pixel în fiecare din cele trei benzi spectrale pot fi acceptate ca fiind coordonate într-o sistem tridimensional. Atunci când folosim mai mult de trei benzi spectrale, un pixel corespunde unui punct situat într-un spațiu "n"-dimensional (unde "n" este egal cu numărul de benzi spectrale).

Combinația de valori de gri care caracterizează un pixel (de tipul (R=24, G=48, B=36) se mai numește și "vector spectral". În practică se întocmesc și așa numitele „profile spectrale”. În exemplul de mai jos este prezentat comportamentul spectral pentru 5 clase identificate pe o imagine Landsat 5 TM achiziționată la data de 30 august 1999. De notat faptul că Banda 6 (infraroșu termal) nu este luată în considerare pentru alcătuirea profilelor spectrale.

**Tabelul 4. Valori radiometrice specifice**

| CLASA             | Banda 1 | Banda 2 | Banda 3 | Banda 4 | Banda 5 | Banda 7 |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Apă de lac        | 63      | 22      | 18      | 14      | 9       | 6       |
| Pădure de foioase | 61      | 23      | 20      | 64      | 54      | 17      |
| Teren arat        | 76      | 38      | 48      | 52      | 110     | 66      |
| Cultură de porumb | 74      | 35      | 32      | 97      | 99      | 30      |
| Cultură furajeră  | 61      | 27      | 26      | 65      | 74      | 29      |



**Fig. 41 Profil spectrale specifice imaginii Landsat TM din 30. august 1999**

#### 5.6.4.5. Praguri de valori identificate în scopul instruirii calculatorului

Clasificările supervizate, nesupervizate și cele hibrid au la bază algoritmi care operează asupra fiecărui pixel în parte și de aceea sunt cunoscuți și sub denumirea de „Algoritmi de Clasificare Per-Pixel”. În cele ce urmează sunt prezentați câțiva pași care trebuie urmați pentru realizarea unei clasificări. Tabelul de mai jos include valorile minime și maxime specifice pentru 6 clase reprezentative prezente în imaginea Landsat 5 TM analizată.

**Tabelul 5. Valori radiometrice specifice minime, maxime și medii**

| CLASA                   | BANDA | MIN | MAX | MEDIA |
|-------------------------|-------|-----|-----|-------|
| Pădure foioase          | TM3   | 18  | 23  | 20    |
|                         | TM4   | 64  | 86  | 75    |
| Pietriș în albia minoră | TM3   | 62  | 72  | 66    |
|                         | TM4   | 69  | 79  | 74    |
| Teren arat              | TM3   | 33  | 36  | 35    |
|                         | TM4   | 39  | 51  | 42    |
| Miriște                 | TM3   | 35  | 43  | 38    |
|                         | TM4   | 54  | 70  | 65    |
| Porumb la maturitate    | TM3   | 26  | 33  | 29    |
|                         | TM4   | 61  | 70  | 65    |
| Apă                     | TM3   | 41  | 49  | 44    |
|                         | TM4   | 16  | 30  | 19    |

Figura următoare exemplifică histograma bidimensională TM3/TM4 (Roșu/Infraroșu Apropiat) și distribuția valorilor spectrale pentru diferite clase.

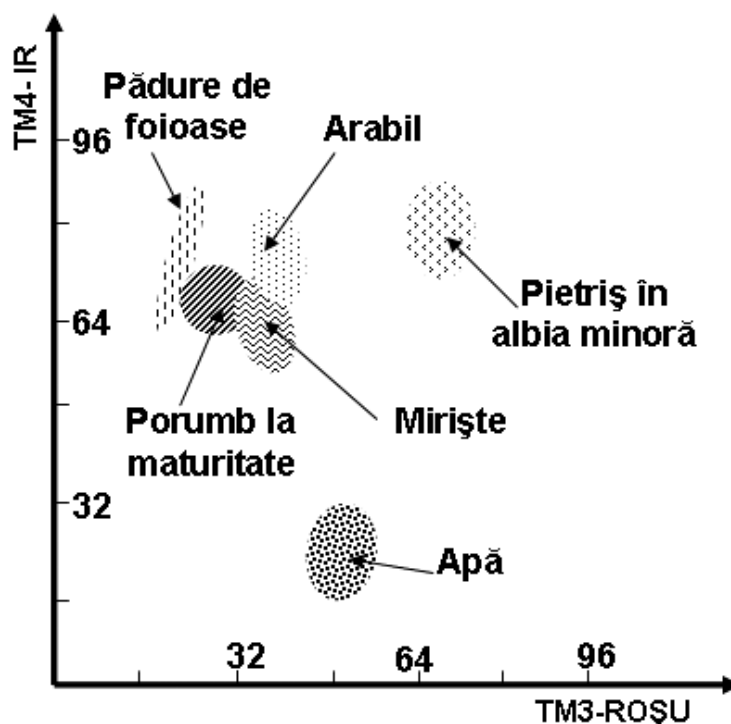


Fig. 42 Reprezentarea claselor pe baza valorilor de gri regrupate în nori (clustere) de valori (tip „pixel value”)

#### 5.6.4.6. Delimitarea claselor prin metoda distanței minime

Metoda distanței minime față de medie este, din punct de vedere al procedurii folosit, cea mai simplă din punct de vedere conceptual. Valorile spectrale ale fiecărui pixel din imagine sunt comparate cu mediile aritmetice ale fiecărei grupe (clase) de obiecte predefinite în faza de instruire. Pixelul este atribuit clasei care are valorile medii cele mai apropiate, sau, altfel spus, se minimizează diferențele între valoarea pixelului și valoarea medie a grupei pentru fiecare bandă spectrală în parte.

În figura următoare este exemplificat principiul distanței minime în care  $G$  este valoarea medie față de care se efectuează calculele.

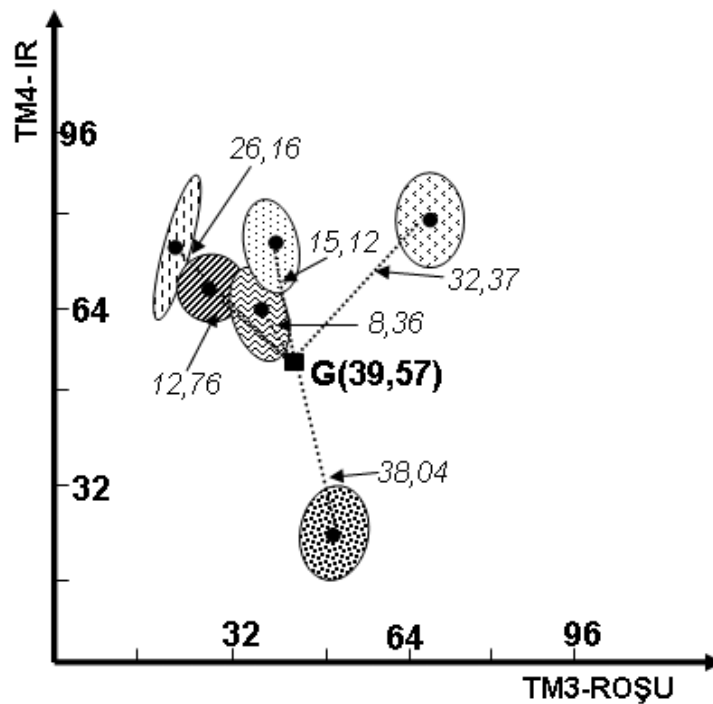


Fig. 43 Exemplu de diagramă în cazul distanței minime

Trebuie ținut seama, totuși, de faptul că algoritmul nu ține cont de faptul că unele clase au o plajă mai largă de valori spectrale care se poate suprapune cu alte grupări ceea ce poate determina alocarea unor pixeli unei clase de care nu aparțin. Totuși, datorită robusteții, simplității și vitezei sale de calcul, algoritmul este utilizat frecvent pentru clasificarea imaginilor de dimensiuni foarte mari.

#### 5.6.4.7. Delimitarea claselor prin metoda paralelipipedului

Într-un clasificator de tip paralelipiped, un pixel este atribuit unei grupări dacă valorile sale spectrale se încadrează între pragurile de minim și de maxim care se regăsesc în datele de instruire pentru acel grup.

Deși paralelipipedul are trei dimensiuni, cazul bi-dimensional este acceptat ca particularitate simplificată la numai două benzi spectrale, iar regiunea în care gruparea de valori aparținând clasei este inclusă este delimitată de un dreptunghi (figura următoare).

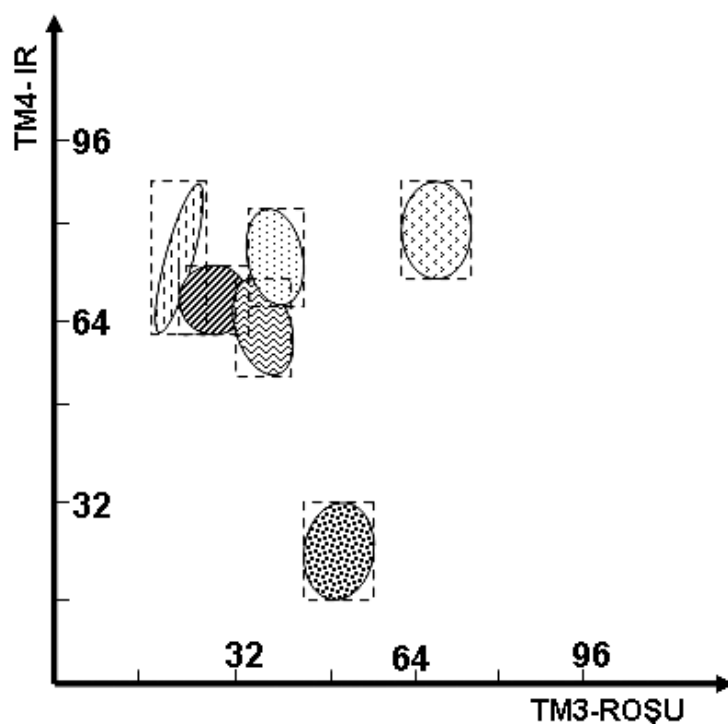


Fig. 44 Delimitarea claselor prin încadrarea în dreptunghiuri care delimitează, pentru fiecare clasă în parte, pragurile minime și maxime probabile (cazul bi-spectral)

În cazul în care se utilizează trei benzi spectrale regiunea aparținând unui grup (o clasă de obiecte cu răspuns spectral omogen) poate fi inclusă, obligatoriu, într-un paralelipiped. În figura de mai jos este exemplificată metoda paralelipipedului într-un spațiu cu trei dimensiuni (trei benzi spectrale).

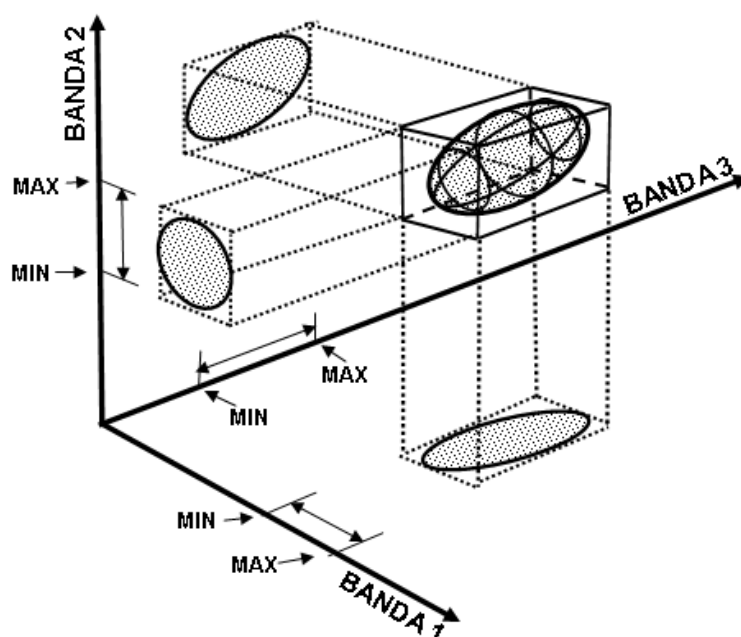


Fig. 45 Delimitarea unei clase prin încadrarea într-un paralelipiped care delimitează pragurile minime și maxime probabile (cazul cu trei benzi spectrale)

Pentru clasificarea imaginilor multicanal, de obicei, sunt utilizate mai mult de trei benzi spectrale care trebuie alese în mod convenabil. Este evident faptul că nu se poate desena o astfel de regiune de incluziune într-un grup bine definit din punct de vedere matematic, dar forma unei trăsături cu  $n$  dimensiuni (unde  $n$  este egal cu numărul de benzi) este caracteristică, cu siguranță unei clase de obiecte.

#### 5.6.4.8. Separarea claselor prin metoda verosimilității (probabilității) maxime

Pentru a elimina confuziile generate de simplitatea algoritmilor utilizați în cazurile precedente (distanța minimă sau paralelipiped) această metodă de clasificare se bazează pe utilizarea teoriei probabilităților pentru a compara valorile spectrale ale fiecărui pixel în parte cu „amprenta” statistică din fiecare set de instruire ales în faza de pregătire a clasificării. Practic, sunt calculate probabilități condiționate de apartenență la o clasă sau alta. Punctele din mijlocul grupării au o probabilitate mai mare de apartenență la clasa respectivă, intervalele de echi-probabilitate fiind delimitate grafic prin izocontururi care exprimă variațiile spectrale din interiorul fiecărui set de training.

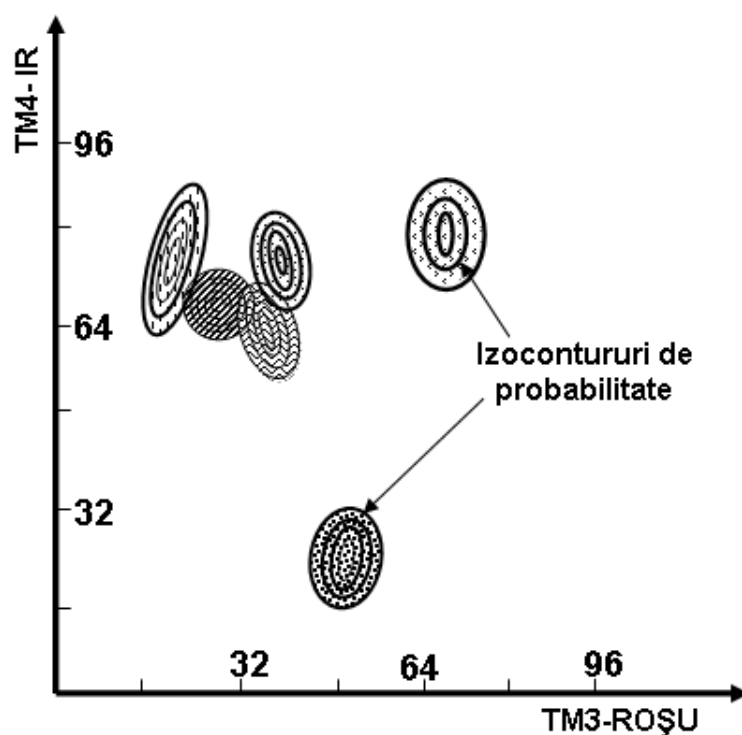


Fig. 46 Reprezentarea grafică a metodei verosimilității maxime

Spre deosebire de metodele descrise anterior, calculele se desfășoară mai lent datorită complexității algoritmilor folosiți. În funcție de importanța proiectului și de precizia solicitată, pentru delimitarea claselor cu precizie ridicată, este recomandat, să fie aleasă aceasta metodă de grupare care, din păcate, este dependentă de resursele calculatorului folosit și de mărimea fișierelor imagine care sunt caracterizate prin numărul de linii, coloane cât și prin numărul de benzi spectrale care se pretează clasificării).

#### *5.6.4.9. Analiza componentelor principale (ACP)*

Analiza componentelor principale este un procedeu utilizat în mod frecvent pentru reprezentarea mai eficientă a informației pe care le conțin imaginile multispectrale de teledetecție. Prin aplicarea ACP se urmărește reducerea numărului de benzi spectrale și identificarea și/sau izolarea unor elemente semnificative care permit simplificarea procesului de interpretare și analiză a imaginilor multispectrale. Analiza componentelor principale este, de fapt, un procedeu de prelucrare preliminară a imaginilor care facilitează interpretarea vizuală sau automată (clasificare supervizată/nesupervizată) a acestora. Acest mod de abordare reduce timpul de procesare și mărește precizia clasificării automate.

Diminuarea numărului de benzi al unei imagini multispectrale este realizată prin eliminarea informației redundante și concentrarea selectivă a informației esențiale. Noile canale imagine (denumite în termeni de specialitate „neocanale”) care rezultă în urma acestei analize statistice poartă numele de componente principale. Prin analiza componentelor principale se maximizează volumul de informație conținut de benzile spectrale originale prin utilizarea unui număr cât mai mic de componente principale. Din punct de vedere matematic, analiza componentelor principale presupune transformarea unui număr de variabile corelate într-un număr mai mic de variabile necorelate (independente).

Analiza componentelor principale pentru imaginile multispectrale de teledetecție relevă faptul că un procent foarte mare de informație este concentrat în primele două sau trei componente principale. De exemplu, în cazul imaginilor Landsat Thematic Mapper (TM), cele trei benzi spectrale din domeniul vizibil (benzile 1, 2 și 3) sunt puternic corelate, ceea ce înseamnă că în proporție foarte mare oferă aceeași informație. Acest fapt constituie un dezavantaj în procesul de clasificare a imaginilor. Prin urmare, cele trei benzi spectrale originale pot fi înlocuite cu o singură imagine obținută prin transformarea acestora în componente principale, fără a fi eliminată o cantitate semnificativă de informație.

În urma cercetărilor efectuate, a fost descoperit faptul că toate benzile spectrale ale senzorului TM pot fi transformate în trei componente principale care conțin un procent de 90% din informația stocată de cele șase benzi originale (n.a.: nu este recomandat ca banda 6 în IR termal să fie utilizată ca informație de intrare în cazul procesării de tip ACP).

#### *5.6.4.10. Utilizarea indicilor de vegetație în procesarea imaginilor*

Indicii de vegetație sunt folosiți în teledetecție pentru o mai bună interpretare a imaginilor satelitare, cu precădere în analiza mineralelor și a vegetației. Determinarea indicilor de vegetație are la bază o observație empirică care arată că răspunsul spectral specific vegetației are o valoare mult mai ridicată în infraroșu apropiat comparativ cu solul și apa comparativ cu răspunsurile spectrale ale acelorași clase în banda roșu din spectrul vizibil. Multe suprafețe naturale apar aproape la fel de luminoase în intervalele spectrale vizibil și infraroșu apropiat ale spectrului electromagnetic, cu excepția vegetației verzi.

Aceasta înseamnă că suprafețele neacoperite de vegetație sau cele care sunt în mică parte acoperite de vegetație vor apărea în mod similar în benzile din vizibil și infraroșu apropiat, în timp ce suprafețele cu multa vegetație verde vor fi foarte luminoase în domeniul infraroșu



apropiat și foarte întunecoase (aproape negre) în domeniul vizibil. Atunci când lumina solară interacționează cu obiectele de la sol, anumite lungimi de undă ale spectrului electromagnetic sunt puternic absorbite, iar altele sunt reflectate.

Clorofila din frunzele plantelor absoarbe o mare parte a energiei electromagnetice din domeniul vizibil (0.4 - 0.7  $\mu\text{m}$ ) pentru a o folosi în fotosinteză. Pe de altă parte, structura celulară a frunzelor reflectă într-o foarte mare proporție energia electromagnetică din domeniul infraroșu apropiat (0,7 - 1.1  $\mu\text{m}$ ). Prin compararea rezultatelor obținute în cele două intervale ale spectrului electromagnetic se pot deduce informații importante referitoare la vegetație.

În teledetecție se folosesc cu precădere următorii indici de vegetație: NVDI (Normalized Difference Vegetation Index), RATIO (Ratio Vegetation Index), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), TDI (Transformed Vegetation Index), CTVI (Corrected Transformed Vegetation Index), TTVI (Thiam's Transformed Vegetation Index), NRVI (Normalized Ratio Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index), PVI (Perpendicular Vegetation Index), DVI (Difference Vegetation Index), AVI (Ashburn Vegetation Index), TSAVI (Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index), MSAVI (Modified Soil-Adjusted Vegetation Index), WDV (Weighted Difference Vegetation Index), etc. Trebuie reținut faptul că acești indici au fost determinați experimental prin analize repetitive aplicate pe cicluri multianuale.

#### 5.6.4.11. Indicele de vegetație normalizat (NDVI)

Indicele de vegetație NDVI este calculat pe baza răspunsului spectral al vegetației în domeniile vizibil roșu ( $R$ ) și infraroșu apropiat ( $IR_a$ ). Formula de calcul a indicelui de vegetație NDVI este:

$$NDVI = \frac{IR_a - R}{IR_a + R}$$

Valorile indicelui NDVI pentru un pixel se găsesc întotdeauna în intervalul  $[-1, 1]$ , însă niciodată pixelii aferenți frunzelor verzi nu au valori apropiate de zero. Valoarea zero a indicelui NDVI înseamnă că nu există vegetație, iar valorile apropiate de 1 (0,8 – 0,9) indică densitatea maximă posibilă pentru frunze verzi.

De regulă, indicele NDVI are valori cuprinse între 0,05 și 0,66. Norii, zăpada și suprafețele strălucitoare neacoperite de vegetație prezintă valori ale indicelui NDVI mai mici ca 0.

#### 5.6.4.12. Indicele de vegetație RATIO

Indicele de vegetație RATIO este util în identificarea suprafețelor acoperite de vegetație și este, de asemenea, un indicator al stării de sănătate a vegetației. Indicele  $IR/R$  reprezintă raportul dintre răspunsul spectral în domeniul infraroșu apropiat ( $IR_a$ ) și răspunsul spectral în domeniul vizibil roșu ( $R$ ):

$$RATIO = \frac{IR_a}{R}$$

#### 5.6.4.13. Indicele de vegetație DVI

Indicele de vegetație DVI poate avea diverse valori. Valorile negative indică prezența apei, valorile pozitive semnalează prezența vegetației, iar valoarea zero lipsa acesteia. Indicele DVI reprezintă diferența dintre răspunsul spectral în domeniul infraroșu apropiat ( $IR_a$ ) și răspunsul spectral în domeniul vizibil roșu ( $R$ ):

$$DVI = IR_a - R$$

#### 5.6.4.14. Indicele de vegetație TVI

Indicele de vegetație TVI oferă rezultate foarte similare cu indicele NDVI. Valoarea constantă 0,5 este adăugată pentru evitarea unor valori negative. Cu ajutorul acestui indice sunt corectate valorile NDVI care prezintă o distribuție de tip Poisson. Rezultatul constă într-o distribuție normală a valorilor. Indicele de vegetație TVI se calculează cu relația:

$$TVI = \sqrt{\frac{IR_a - R}{IR_a + R}} + 0,5$$

## **TEMA NR. 6. NOȚIUNI PRIVIND INTERPRETAREA IMAGINILOR**

Procesul de interpretare a imaginilor este o deprindere dezvoltată prin antrenament și profesionalism. Este o combinație de artă și știință bazată pe intuiție utilizată pentru a putea diferenția și identifica o serie de caracteristici ale obiectelor și fenomenelor.

Interpretarea imaginilor se bazează pe acumularea unei experiențe considerabile și pe gradul de specializare al interpretului. Acesta folosește procese deductive pentru a extrage informațiile conținute în documentele imagine analizate.

Imaginile în format analogic sau digital sunt acceptate definitiv ca fiind o sursă obiectivă de informații cu condiția ca fotointerpretul să fi acumulat suficientă experiență pentru a elimina confuziile care apar datorită similarității răspunsurilor spectrale sau a texturilor. Din acest motiv am considerat necesar să fie reamintite și câteva principii de bază ale fotointerpretării imaginilor aeriene.

Trebuie amintit faptul că 90% din informațiile pe care le avem despre lumea exterioară sunt recepționate prin simțul văzului iar mecanismul de acumulare a cunoștințelor parcurge patru etape distincte:

- 1. receptare**
- 2. percepție**
- 3. integrare**
- 4. valorificare (prin intelect)**

Datele provenite de la sateliții de observarea a Terrei au caracteristici generate atât de parametri biologici și fizici cât și de influența factorului antropic asupra peisajului care face obiectul studiului..

Ținând seama de elementele enumerate mai sus, pentru realizarea corectă a unui studiu, trebuie înțeles modul de extragere a informațiilor prin analiză și interpretare.

### **6.1. Analiza și interpretarea**

Procesul de prelucrare a informației imagine se desfășoară în două etape: analiză, respectiv interpretare

Analiza este „separarea sau desfacerea oricărui întreg în părțile sale componente”. Din punct de vedere statistic analiza permite stratificarea peisajului pentru a permite disocierea unor elemente care nu pot fi discriminate și identificate prin utilizarea acelorași combinații de benzi spectrale.

Interpretarea are ca scop explicarea înțelesului sau semnificației oricărei părți raportate la întreg și urmează, în mod logic, analizei.

În acest moment, la dispoziția fotointerpreților sunt disponibile variate tipuri de documente imagine cu caracteristici spectrale diferite (vizibil, infraroșu, infraroșu termal, microunde) și care evidențiază, fiecare în parte sau în combinații adecvate, informații distincte.

În practică există două categorii majore de informații conținute în toate înregistrările imagine, informații spațiale și informații radiometrice.

### **6.1.1. Informații spațiale**

În practica fotointerpretării, dispunerea și repartiția tonurilor oferă indicii spațiale și astfel este marcată prezența și localizarea informației în imagine.

Atunci când tonurile apar în combinații variabile, într-un spațiu bine delimitat, definesc forme, dimensiuni, modele și texturi caracteristice obiectelor și fenomenelor.

Chiar dacă elementele de mai sus descriu lucruri foarte diferite, acestea au o legătură bine definită pentru că sunt corelate din punct de vedere al spațializării (de fapt sunt atribute spațiale ale obiectelor și fenomenelor). De aceea, pentru a identifica și extrage informații, aceste caracteristici sunt folosite întotdeauna împreună.

#### **6.1.1.1. Interpretarea caracteristicilor spațiale**

O livadă este compusă din pomi, iar fiecare pom are o formă specifică. Dar livada este, în fapt, un grup de elemente (pomi) aranjate după o anumită logică.

În grupuri, pomii sunt aranjați după un anumit model și pot fi identificați datorită texturii specifice. Acest indiciu poate fi corelat și cu alte informații referitoare la dimensiuni și forme asociate (alei de exploatare cu dimensiuni specifice, împrejurimi etc.).

Aceste proprietăți sunt specifice grupurilor cărora li se poate aplica principiul similarității elementelor componente și trebuie luate în considerare mai ales în cazul înregistrărilor în vizibil.

### **6.1.2. Informații radiometrice**

Diferitele tonuri identificate pe o înregistrare corespund intensității luminii reflectate sau emise de obiectele de pe suprafața Pământului. Cu cât obiectul apare mai luminos cu atât este mai mare cantitatea de radiație reflectată/emisă de către obiect.

Funcție de caracteristicile senzorului, fiecare document imagine conține informații detaliate care pot fi extrase la un nivel corespunzător de complexitate.

Trebuie amintit faptul că informația radiometrică trebuie să fie extrasă ținând cont în mod obligatoriu de rezoluția geometrică a senzorului utilizat.

#### **6.1.2.1. Interpretarea caracteristicilor radiometrice**

În cazul canalelor în infraroșu sunt cuantificate diferențele de energie electromagnetică care permit identificarea diferențelor subtile de reflecție la vegetație de tipuri diferite.

În infraroșu apropiat arborii sănătoși înverziți (la începutul perioadei de vegetație) din pădurile de foioase reflectă o mai mare cantitate de energie decât coniferele, deci este posibilă diferențierea (discriminarea) speciilor forestiere pe o singură imagine înregistrată la o dată

convenabilă din punct de vedere al stadiului de vegetație (adică primăvara, începând cu sfârșitul lui aprilie până la mijlocul lunii mai).

Contrastul este, de asemenea evident pe imagini preluate către sfârșitul perioadei de vegetație a foioaselor (toamna în lunile octombrie-noiembrie) facilitând discriminarea foioase/conifere.

Indiferent de perioada de vegetație, este posibilă diferențierea arboretelor sănătoase aparținând aceleiași specii de cele afectate de maladii facilitând monitorizarea stării de vegetație a plantelor.

## 6.2. Recomandări privind interpretarea profesională a imaginilor satelitare

Pentru interpretarea imaginilor satelitare este de presupus că operatorul cunoaște în detaliu caracteristicile senzorilor utilizați și limitele geometrice și spectrale până la care este permisă cartografierea corectă și eficientă.

Considerând condiția de mai sus îndeplinită, este recomandat să se efectueze o analiză a pretabilității fiecărei benzi spectrale pentru identificarea elementelor tematice ale peisajului care pot fi extrase cu obiectivitate și certitudine. În tabelul următor este prezentată pretabilitatea utilizării separate a fiecărei benzi spectrale a sateliților LANDSAT, exceptând infraroșul termal, pentru identificarea unor categorii de acoperire a terenului. Este evident faptul că analizele în alb-negru ale unei singure benzi spectrale nu pot fi productive. Cunoscând, însă, caracteristicile de sensibilitate spectrală ale fiecărui canal în parte este mai ușor să se aleagă combinațiile de trei benzi spectrale pentru vizualizări sugestive pentru a facilita discriminarea claselor care fac obiectul studiului.

**Tabelul 6. Pretabilitatea benzilor spectral Landsat TM**

| TEMATICA                                  | BANDA SPECTRALĂ LANDSAT TM/ETM |   |     |   |   |     |
|-------------------------------------------|--------------------------------|---|-----|---|---|-----|
|                                           | 1                              | 2 | 3   | 4 | 5 | 7   |
| Luciu de apă                              | S                              | S | M   | B | B | B   |
| Calitatea apei                            | B                              | B | S/M | I | I | I   |
| Forme naturale de drenaj                  | S                              | S | M   | B | B | M   |
| Soluri (Pedologie)                        | S                              | M | B   | M | B | M   |
| Suprafețe împădurite                      | M                              | M | M   | B | B | M   |
| Suprafețe agricole                        | S                              | M | M   | B | B | M/B |
| Areale construite                         | M/B                            | B | B   | S | S | S/M |
| Cariere și exploatare miniere la zi       | S                              | S | S   | B | M | M   |
| Elemente de infrastructură                | B                              | B | M/B | S | S | S/M |
| B=Bună, M=Medie, S=Slabă, I=Inutilizabilă |                                |   |     |   |   |     |

### 6.3. Caracteristici exploatate pentru evaluarea imaginilor satelitare

Pentru a sistematiza corect informația conținută de imagini, în practica fotointerpretării se ține seama de următoarele caracteristici:

- Intensitatea (strălucirea) tonului/culorii care indică modul în care lumina este reflectată de către un obiect;
- Textura care indică frecvența schimbărilor și dispunerii tonurilor în cadrul imaginii;
- Contrastul care indică relația tonurilor unui obiect cu vecinătățile acestuia;
- Structura/modelul care indică repetitivitatea regulată a variațiilor tonale în cadrul imaginilor și descrie aranjamentul spațial al elementelor de interes observate;
- Forma se referă la aspectul general, configurația sau conturul unui obiect identificat în contextul imaginii;
- Mărimea se referă la dimensiunea suprafeței ocupate de obiectul analizat

#### 6.3.1. Relația și semnificația relației textură/structură

În scopul evitării oricăror ambiguități, este necesar să fie clarificate două noțiuni esențiale în practica interpretării imaginilor (textura și structura) dar și relația fundamentală dintre acestea.

Textura oferă relații asupra naturii obiectului evidențiată prin proprietățile fizice ale acestuia cuantificabile prin nivelul reflectanței.

Structura evidențiază în mod special funcția obiectului și/sau relațiile acestuia cu mediul înconjurător. Astfel, prin analiză logică, în mod indirect, se pot pune în evidență elemente de substrat (geologia) prin elementele structurate corespondente de la suprafață (rețeaua hidrografică).

În natură se regăsesc texture care pot fi foarte bine structurate (de exemplu o plantație arboricolă de vârstă medie în care copacii sunt dispuși după un aranjament geometric prestabilit) sau slab structurate (de exemplu o pădure virgină).

Diagrama următoare prezintă un exemplu privind structurile texturale care pot fi identificate pe imaginile aeriene și satelitare.

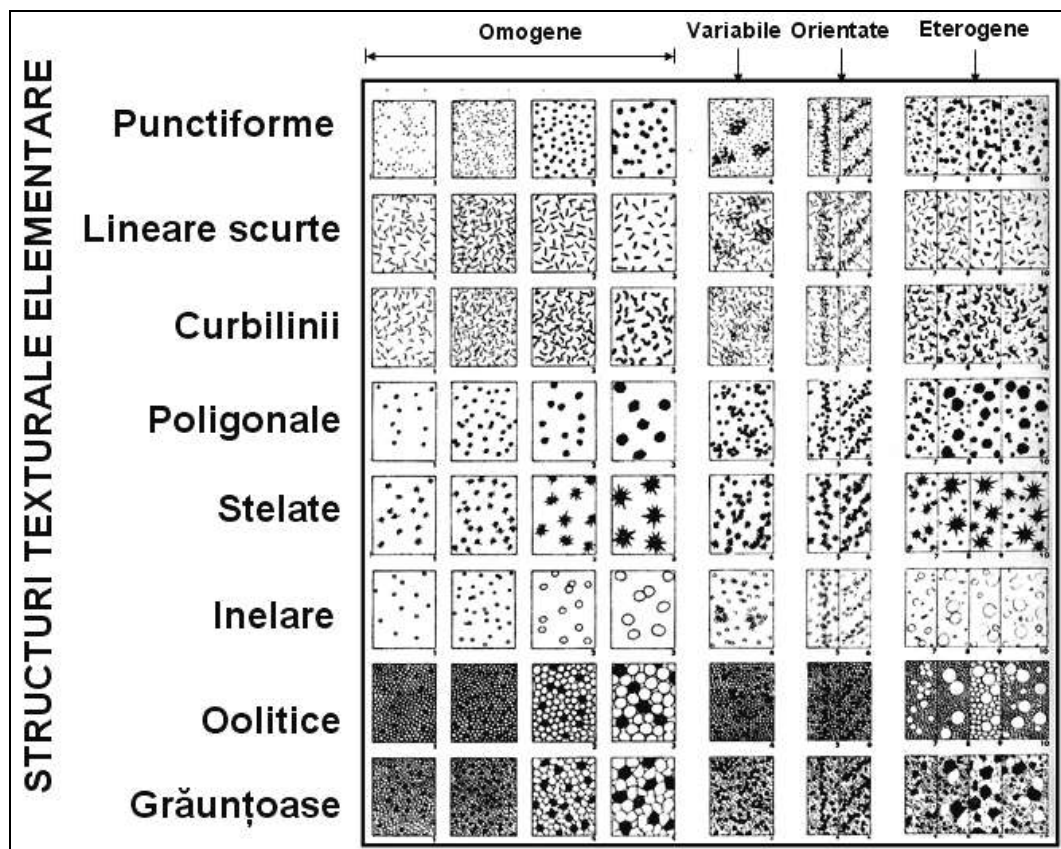


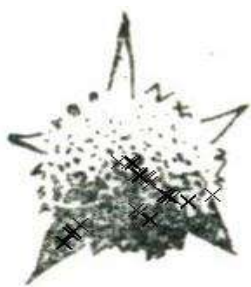
Fig. 47 Exemple de structuri texturale

### 6.3.2. Forma, mărimea obiectului și elemente corelate

Forma elementelor din natură, cât și dimensiunea acestora sunt asociate cu modele intuitive formalizate în cataloage sau ghiduri de fotointerpretare. În figurile de mai jos sunt reprezentate coroanele unor arbori și siluetele lor atunci când aceștia sunt izolați. Ca element ajutător, se utilizează umbra, asociată acestor siluete.



Fig. 48 Coroana diferitelor specii de conifere pe fotogramele aeriene



**Pin silvestru**



**Fag**



**Gorun**

**Fig. 49 Coroana diferitelor specii de arbori (foiase) pe fotogramele aeriene**



**Molid**



**Brad**



**Larice**



**Pin silvestru**



**Fag**



**Gorun**

**Fig. 50 Umbrele copacilor izolați pe fotograme aeriene**

Zonele de umbră și zonele supraexpuse afectează lizibilitatea elementelor de pe imagine. Reflexivitatea rocilor de culoare albă provoacă apariția unor zone foarte luminoase fiind împiedicată discriminarea detaliilor datorită pierderii de contrast.

Pentru unul și același detaliu, în condiții meteorologice diferite, interpretarea trebuie adaptată știind faptul că solul umed are o culoare diferită, mai închisă, decât solul uscat. Pentru a compensa acest handicap, în fotogrametria clasică, în timpul prelucrării de laborator, se realiza o expunere diferențiată la copiere: mai lungă pentru zonele strălucitoare (închise pe negativ) și mai redusă pentru zonele umbrite (transparente pe negativ).

Tehnicile digitale permit o altfel de abordare bazată pe tehnici de manipulare a histogramei și/sau filtraj specific în scopul îmbunătățirii contrastului, luminozității ori întăririi frontierelor dintre obiectele individualizate.



## 6.4. Analiza peisajului

Ținând seama de caracteristicile enumerate în paragrafele anterioare analiza peisajului se realizează în următoarea ordine:

1. Rețeaua hidrografică (de drenaj)
2. Formele de relief;
3. Acoperirea (cuvertura) terenului.

### 6.4.1. Analiza rețelei hidrografice (a drenajului)

Analiza drenajului oferă informații referitoare la morfologia terenului, litologie, structura geologică și permeabilitatea materialelor suprafeței.

- Evidențierea sistemului natural terestru,
- Identificarea infrastructurii
- Observarea organizării teritoriale.

În tabelul următor pot fi regăsite elemente de corelație între forma (configurația) rețelei hidrografice și forma de relief specifică fiecărui tip de drenaj.

**Tabelul 7. Tipuri de drenaj**

| Tip        | Configurație                                                                                                                                                      | Elemente asociate                                              | Forme de relief asociate                                     |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Dendritic  | Afluenți în formă arborescentă care se varsă în râul principal în diferite unghiuri ascuțite.                                                                     | Materiale ale solului și roci uniforme și omogene.             | Dealuri cu argila sau marne nisipoase                        |
| Paralel    | Cursurile principale sunt paralele; afluenții se varsă în cursurile principale în unghiuri extrem de ascuțite.                                                    | Suprafețe de pantă uniforme, omogene.                          | Platouri piroclastice ușor înclinate                         |
| Radial     | Rețea circulară de canale aproximativ paralele care pornesc dintr-un punct central înalt (a: centrifugal) sau converg către aceeași zonă circulară (b: centripet) | De obicei, un indicativ dat unor materiale relativ rezistente. | Peisajul vulcanic (conul central, depresiuni de tip căldare) |
| Carstic    | Sistem de drenaj care este fie absent fie se termina brusc în cavitățile carstice                                                                                 | Calcar                                                         | Munți de calcar                                              |
| Artificial | Rețea geometrică realizată prin intervenție antropică (sisteme de îmbunătățiri funciare și lucrări de combatere a eroziunii)                                      | Sol aluvial fertil                                             | Câmpie aluvială, terenuri agricole amenajate.                |

## 6.5. Fotointerpretarea imaginilor

Fotointerpretarea este metodologia de extragere și clasificare a informației tematice conținute imagini analogice sau digitale. Această disciplină s-a dezvoltat în paralel cu fotogrametria. De fapt, fotografiile și cuplurile stereoscopice constituie un echivalent analogic optic-mecanic și chimic al sensibilității ochiului la lumină, al viziunii stereoscopice și percepției optice.

Primul obiectiv al fotointerpretării este utilizarea intensivă a documentelor fotografice și/sau imagine pentru obținerea și exploatarea informației necesare studiilor specifice unor domenii tematice.

Fotointerpretarea este condiționată de acumularea prealabilă a unor cunoștințe referitoare la realitatea socio-economică și fizică, tipurile morfologice și condițiile specifice unui areal considerat subiect al studiului.

În plan calitativ imaginea fotografică sau digitală poate fi interpretată cu scopul evidențierii diverselor caracteristici ale mediului de către specialiști din diverse ramuri ale științelor naturii, iar în plan cantitativ, fotografia aeriană clasică și tehnicile fotogrametrice și de teledetecție multispectrale în vizibil, infraroșu și/sau microunde permit măsurarea formelor și dimensiunilor terenului, în vederea elaborării hărților și planurilor.

Chiar dacă progresul informaticii este exponențial, folosirea tehnicilor figurative se dovedește a fi foarte sigură și, în multe cazuri, economică pentru o mare varietate de aplicații operaționale, dezvoltarea acestei laturi a interpretării imaginilor fiind supusă permanent unui proces de modernizare favorizat de progresul în domeniul informaticii și adaptării de algoritmi specifici.

Chiar dacă fotogrametria clasică permite măsurarea celor trei dimensiuni X,Y,Z, singurele măsurători care se efectuează sunt bidimensionale. Avantajele utilizării fotografiei analogice (de exemplu o fotograma aeriană) pot fi rezumate astfel :

- Este o imagine relativ obiectivă a realității la un moment dat,
- Fotografia redă o reprezentare completă a unui obiect (cu excepția părților ascunse sau mascate),
- Este un document foarte ușor de manipulat, cu o mare fiabilitate în timp (atunci când sunt luate măsuri de arhivare speciale),
- Prin sau prelevarea de fotograme terestre se realizează corespondența dintre obiectul real din teren și imaginea sa (mai mult sau mai puțin obiectivă) de pe fotogramă,
- Este posibil studiul obiectelor deformabile, fragile, casabile, fără a intra în contact direct cu acestea și fără a le deteriora,
- Prin fotointerpretare se realizează o operațiune inversă prin care se încearcă reconstituirea realității din teren pe baza unor criterii de analiză specifice.

Evident, fotogrametria aeriană spre deosebire de teledetecția satelitară, apelând la măsurători indirecte (cazul reperajului), are și unele inconveniente care se datorează, în special, calculelor relativ complexe care împiedică obținerea rezultatelor în timp real.

Fotografia aeriană se utilizează în două moduri:

- prin metode de fotoidentificare (descifrare)) se recunosc obiecte simple vizibile pe fotogramă (drumuri, arbori, ape), iar prin fotodeterminare, utilizând principii logice, se recunosc prin deducție obiecte și fenomene simple.

- prin metode de fotointerpretare se realizează o analiză deductivă stabilind relațiile complexe între obiecte foarte frecvent invizibile pe fotograme (de. exemplu tipuri de soluri, prezența apei freactice).

Această analiză conduce la elaborarea de legi de corelare între obiecte și la o înțelegere globală a structurilor mediului și a interacțiunilor între factorii naturali și umani.

Fotointerpretarea face apel la specializarea interpretului, la competența sa și, mai ales la experiența sa de teren fără de care nu este posibilă obținere unor rezultate reale.

### **6.5.1. Principii și etape ale procesului de fotointerpretare**

Fotointerpretare este realizată, în general, printr-o succesiune de operațiuni constând din :

- pregătire (pre-zonare)
- confruntarea de teren (recunoaștere prealabilă, control final)
- sinteză
- cartografiere

Succesiunea operațiunilor poate varia în funcție de climă iar durata fotointerpretării variază în funcție de:

- tema studiată,
- obiectivele studiului
- experiența fotointerpretului

#### **6.5.1.1. Pregătirea (pre-zonarea)**

Atunci când se utilizează documente exclusiv în format analogic, se începe cu racordarea hărților și a fondului de planuri disponibile referitoare la arealul de studiu. De asemenea se pregătește baza fotografică de lucru (asamblarea fotogramelor în fotoscheme sau mozaicuri).

În cazul utilizării imaginilor în format digital în mod obișnuit se realizează o stratificare a peisajului analizat și se aplică măști tematice acolo unde este cazul. De exemplu dacă se efectuează un studiu asupra unui peisaj litoral, iar calitatea apei nu face obiectul studiului, apa este delimitată pentru a fi eliminată din procesul de calcul prin mascare.

Se efectuează lectura preliminară pentru a:

- identifica căile de acces
- se familiariza cu marile unități de peisaj sau de teritoriu care pot face obiectul zonării

În cazul utilizării fotogramelor se face apel la așa numita *lectură stereoscopică* care permite efectuarea unei prime interpretări detaliate orientate către subiectul de studiu utilizând mijloace de evaluare a structurilor și a texturilor care favorizează interpretarea mai avansată.

În urma acestei operațiuni rezultă un document pre-stratificat însoțit de o legendă care limitează posibilitatea de a genera confuzii (incertitudini). Cu această ocazie se localizează și puncte care trebuie vizitate la teren (de exemplu cariere unde se pot face studii de sol sau de structuri geologice). Obiectele neidentificate și incerte se inventariază pentru a fi și ele vizitate la teren.

#### 6.5.1.2. Confruntarea la teren

Practica fotogrametrică clasică a impus ca metode de validare a fotointerpretării realizate la birou trei moduri de lucru:

- Observarea punctuală individuală (lungă și costisitoare)
- Observarea staționară se face dintr-un punct reprezentativ al zonei de studiu (stație). În urma observării staționare se face o reprezentare care este afectată de limitările impuse de mascare și de aprecierea perspectivă neconformă)
- Observarea peisajului din mai multe puncte de stație. Prin această metodă se poate face o descriere mai completă a zonei de interes. Totuși, și această metodă de lucru este limitată de mascare și perspectivă care pot înșela observatorul, fie el foarte experimentat.

De la apariția metodelor computerizate de analiză strategia și obiectivele activității de teren au fost adaptate astfel că pe lângă abordarea clasică mult simplificată (sau chiar ignorată), se practică metode de validare prin sondaj a rezultatului clasificărilor. Este cazul aplicațiilor cu tematică privind utilizarea și/sau acoperirea terenurilor (cunoscute prin abrevierea generică în limba engleză LU/LC-*land use/land cover*). De fapt, acceptând faptul că se lucrează georeferențiat, pentru poligoane care delimitează clase de obiecte supuse verificării, se extrag perechi de coordonate x și y. La teren, cu ajutorul GPS-ului, se identifică punctul respectiv și se confirmă, sau infirmă, după caz rezultatul clasificării.

### 6.6 Analiza multivariată a datelor de teledetecție

Teledetecția este o tehnică de investigare selectivă care impune manipularea contextului în care informația a fost obținută ținând seama de stările și procesele care au loc pe suprafața continentelor și a oceanelor.

Abordată ca un sistem integrat, ca un proces optimizat cu module foarte bine structurate, reproductibile în oricare din verigi și în ansamblul lor, de la achiziționarea datelor până la afișarea rezultatelor, tehnologiile operaționale de teledetecție vin în întâmpinarea unor probleme majore ale economiei permițând inventarierea și urmărirea dinamicii fondului funciar, supravegherea arealelor irigate, evaluarea stării de umiditate și urmărirea excesului de umiditate în sol, poluare, urmărirea transportului de aluviuni, eroziunea și salinizarea solului, estimarea recoltelor, supravegherea pădurilor și pășunilor.

Teledetecția, ca tehnologie operațională, oferă posibilitatea monitorizării sinoptice, la scară regională, dar și a selectării unor areale relativ restrânse pe care se pot evidenția fenomene

multiple. La nivel local pot fi extrase detalii ale modului de manifestare a acestora, în special pentru supravegherea fenomenelor și obiectelor prin testarea și implementarea unor modele dinamice de evoluție necesare predicției pe perioade mai scurte sau mai lungi a recoltelor. De asemenea pot fi identificate efectele poluării, suprafețele afectate de exces de umiditate, amplitudinea viiturilor de primăvara și a arealelor inundate.

### **6.6.1. Interpretarea integrată și multi-CONCEPTUALĂ**

Interpretarea se realizează folosind o abordare integrată și multi-conceptuală respectând următoarea succesiune:

- Evidențierea sistemului natural terestru,
- Identificarea infrastructurii
- Observarea organizării teritoriale

#### *6.6.1.1. Conceptul “MULTI” în teledetecție*

Abordarea multi-conceptuală se bazează pe următoarele noțiuni:

- 1. Multi-temporalitate,**
- 2. Multi-spectralitate,**
- 3. Multi-rezoluție (multi-scară)**
- 4. Multi-sursă**

##### 6.6.1.1.1. Multi-TEMPORALITATE

Prin analiza peisajului aceluiași areal, folosind imagini achiziționate la date diferite după un calendar precis, este posibilă elaborarea unor proceduri analitice care evidențiază variații temporale relevate de răspunsul spectral specific datei respective.

Astfel, se pot discrimina clase de obiecte al căror comportament spectral se modifică în timp datorită variabilității factorilor:

1. Naturali (variații sezoniere)
2. Antropici (modificarea peisajului)

##### 6.6.1.1.2. Variabilitatea factorilor naturali

1. Variabilitatea spectrală
2. Variabilitatea peisajului
3. Funcția obiectului în cadrul peisajului

#### 6.6.1.1.2.1. Variabilitatea spectrală

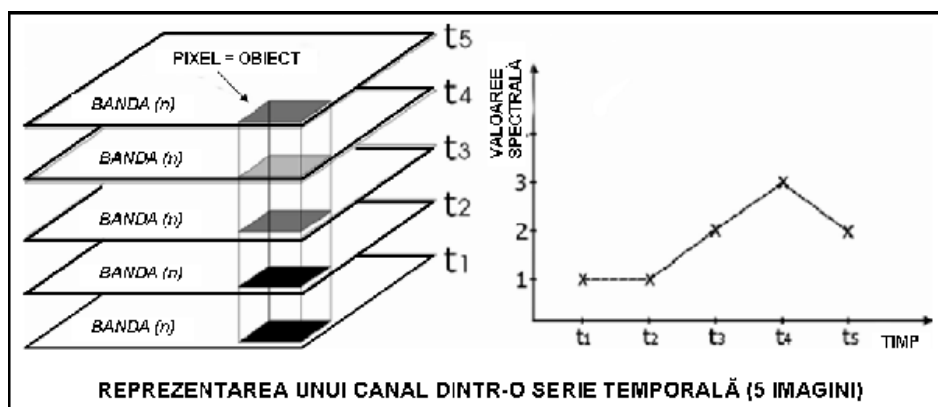


Fig. 51 t1-t2=Teren arat; t2-t4=Perioada de vegetație; t5=Miriște

#### 6.6.1.1.2.2. Variabilitatea peisajului (PEISAJUL)

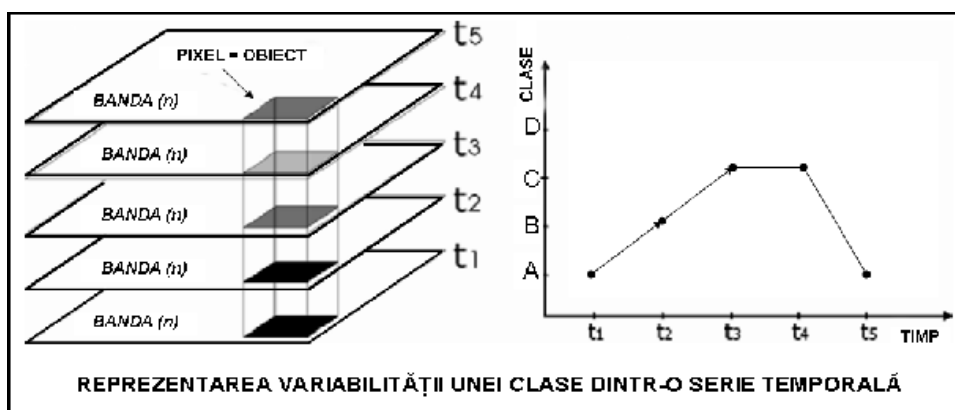


Fig. 52 t1-t2=Teren gol; t2-t4=Vegetație; t4-t5=Miriște

#### 6.6.1.1.2.3. Schimbarea funcționalității obiectului în peisaj

Pentru unul și același fenomen (obiect) graficul poate avea o alta alură dacă se ia în considerare funcția obiectului.

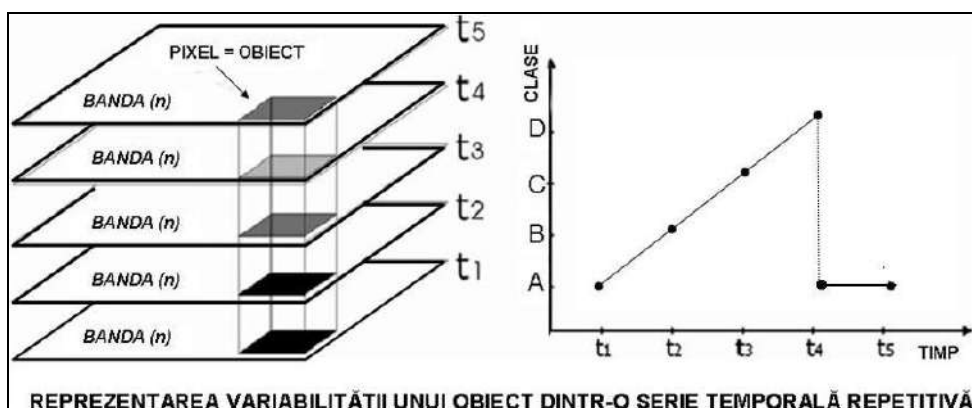


Fig. 53 t1-t4=Cultură în evoluție; t4-t5=Teren neutilizat

#### 6.6.1.1.2.4. Variabilitatea factorilor antropici

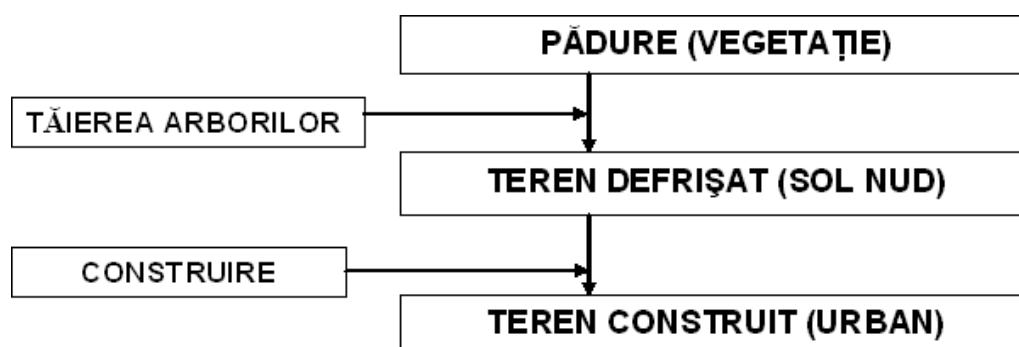
Politicile și strategiile de amenajare sau reorganizare a teritoriului sunt o sursă majoră de schimbare a peisajului terestru. În figura de mai jos pot fi observate efectele de fărâmițare a parcelarului agricol din Câmpia Română urmată de o regroupare generată de tranzacționarea terenurilor atunci când cadrul legislativ s-a stabilizat.



Fig. 54 Fereastră extrasă din imagini Landsat TM (achiziția 1990, 1994 și 2000) care ilustrează dinamica peisajului agricol.

#### 6.6.1.1.2.5. Modificarea peisajului prin intervenție antropică

Datorită schimbării modului de organizare / amenajare a teritoriului, unul și același areal poate să își schimbe temporar sau definitiv apartenența la o clasă.



#### 6.6.1.1.3. Abordarea multi-SPECTRALĂ

Fiecare trăsătură a suprafeței terestre este evidențiată în mod diferit funcție de natura sa și de porțiunea spectrului electromagnetic (banda spectrală) utilizată.

Același obiect este reprezentat în nivele (tonuri de gri) diferite în benzi spectrale diferite ale aceleiași imagini preluate simultan.

#### 6.6.1.1.4. Abordarea multi-REZOLUȚIE (multi-SCARĂ)

Teledetecția se desfășoară pe mai multe planuri în sensul în care, în mod progresiv, se poate obține mai multă informație, pentru porțiuni din ce în ce mai mici ale arealelor care sunt studiate, corespunzător unor scări din ce în ce mai mari.

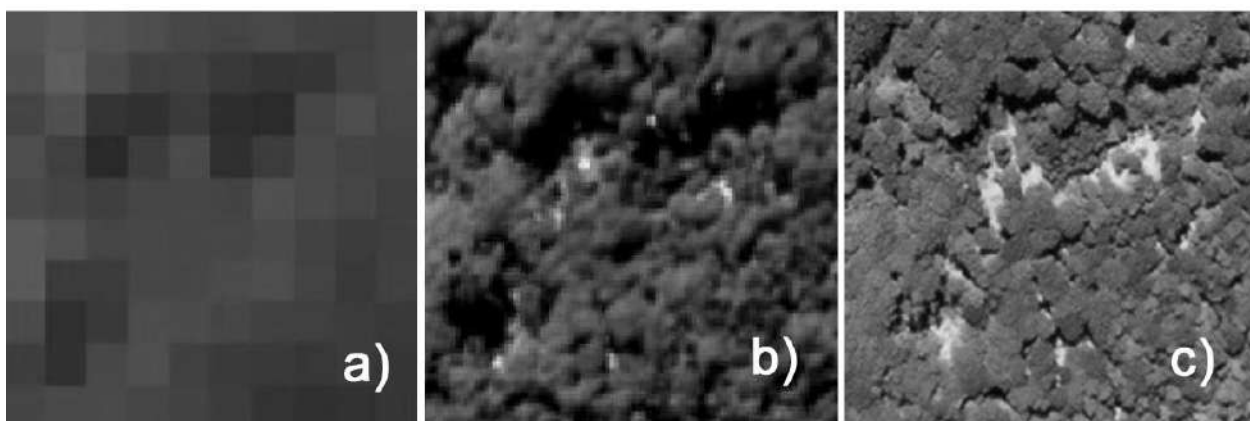


Fig. 51 a) SPOT Pan pixel 10mX10m; b) foto aerian IR pixel 2mX2m; c) foto aerian, vizibil pixel 0,5mX0,5m

#### 6.6.1.1.5. Abordarea multi-SURSĂ

Orice document cartografic, oricât de vechi ar fi, trebuie să fie luat în considerare pentru a da mai multă greutate analizei. În exemplul de mai jos, imaginea Ikonos pancromatic și harta cadastrală scanată (ambele georeferențiate) arată faptul că documentele cartografice vechi (considerate de multe ori, depășite) pot să ofere informații privind evoluția peisajului sau a schimbării categoriei de folosință (vezi parcela L5433 –livadă care apare a fi defrișată pe imaginea satelitară)



Fig. 52 Vizualizare de tip (plan cadastral și imagine Ikonos P)



## **TEMA NR. 7. PROGRAME DE TELEDETECTIE PE TERMEN LUNG : SATELIȚII DIN SERIILE LANDSAT ȘI SPOT**

În acest capitol ne vom axa pe enumerarea principalelor caracteristici ale sateliților de înaltă rezoluție (HR) Landsat și SPOT, ERS de altfel cei mai cunoscuți și utilizați. Chiar dacă pe orbită evoluează și alți sateliți cu importanță recunoscută, de exemplu cei indieni de înaltă rezoluție din seria IRS sau de foarte înaltă rezoluție IKONOS (SUA), Quick Bird (SUA), EROS (Israel), Kompsat (Coreea de Sud), FORMOSAT (Taiwan), CARTOSAT (India), ne vom limita la descrierea sateliților americani Landsat și a celor francezi din seria SPOT de la care provine majoritatea imaginilor digitale de teledetecție de înaltă rezoluție utilizate în prezent în scopuri tematice. Cei doi sateliți au unele caracteristici comune:

- au orbite heliosincrone, ceea ce înseamnă că se rotesc în jurul pământului cu aceeași perioadă cu care Pământul se rotește în jurul propriei axe, ceea ce înseamnă că trecerea satelitului peste o anumită regiune se face la aceeași oră;
- ambele înregistrează radiația electromagnetică în una sau mai multe benzi spectrale.
- scanerul de la ambii sateliți poate produce imagini la nadir (suprafața care are ca centru de simetrie piciorul perpendicularei la teren).

Suprafața acoperită la sol este o caracteristică foarte importantă a imaginilor de teledetecție, o deschidere mare a câmpului de vedere limitând numărul de imagini de manipulat dar contribuind, la o pierdere a calității geometrice, garantată în cazul unui punct de vedere îngust.

În ultimul timp se mixează diverse tipuri de senzori pe aceeași platformă. Este cazul ultimului satelit din seria SPOT care combină rezoluții geometrice de 10, 20 și 1100 m, preluând o parte din aplicațiile specifice datelor provenite de la sateliții NOAA-AVHRR dar și Landsat prin prezența canalului termic cu rezoluție mai scăzută decât a celorlalte șase canale.

Utilizarea combinată a datelor provenite de la diverși sateliți permite eliminarea unor neajunsuri majore ale datelor de bază. Un exemplu cu mare aplicabilitate este combinarea datelor multispectrale SPOT sau LANDSAT cu date radar provenite de la sateliții ERS în vederea eliminării handicapului generat de acoperirea cu nori a unei zone.

### **7.1. Sateliții din seria Landsat**

În 1972 NASA a lansat primul program civil specializat în achiziționarea de date satelitare digitale pentru teledetecție. Primul sistem a fost inițial denumit ERTS (Satelit Tehnologic de Resurse ale Pământului) și apoi denumit Landsat. În timp, au fost plasați pe orbită mai mulți sateliți:

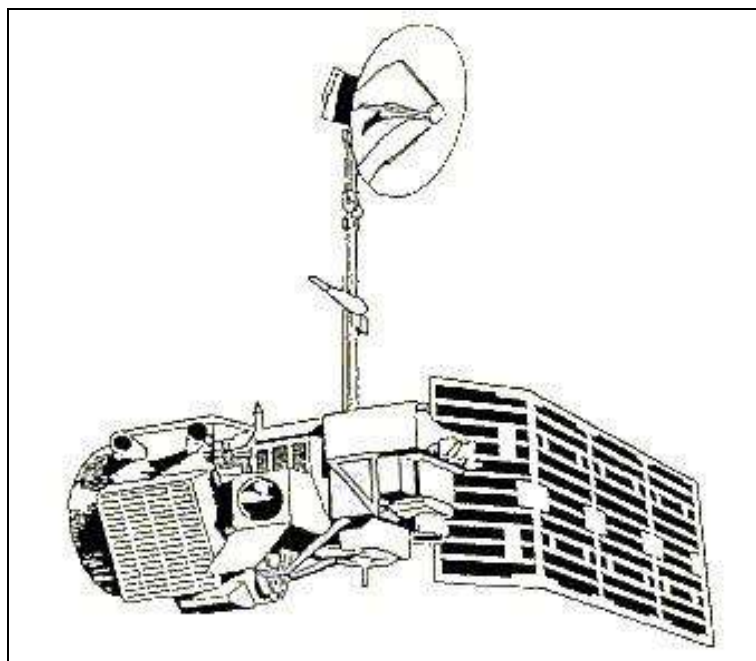
- Landsat 1, 2 și 3 din prima generație, cunoscuți sub denumirea Landsat MSS, au achiziționat, până la scoaterea din uz, prin intermediul scannerului multispectral, date de tip

MSS (care nu răspundeau decât în măsură limitată nevoilor de precizii geometrice ridicate, datele arhivate având rezoluția la sol în zona țării noastre de 55x79 m

- Landsat 4 și 5 (Thematic Mapper-TM) sunt încă pe orbită, ultimul achiziționând date în 7 benzi spectrale. Programul prevedea și punerea pe orbită a celui de-al șaselea satelit, dotat și cu un canal pancromatic cu rezoluție de 15 m, dar lansarea sa a constituit un eșec.

- Landsat 7 ETM a fost lansat în luna aprilie 1999 și a furnizat date în același format. Noutățile aduse de acest satelit sunt legate de noul senzor pancromatic cu rezoluție de 15 m, care, spre deosebire de SPOT este sensibil și la o mică zonă din infraroșu (pentru a accentua discriminarea vegetației), dar și posibilitatea calibrării permanente în tandem cu satelitul Landsat 5. Deasemenea, rezoluția geometrică a canalului termal a fost mărită la 60 m.

Scannerul TM este un sistem de achiziție multispectral în care senzorii TM înregistrează energia electromagnetică reflectată/emisă din spectrul vizibil, infraroșu apropiat, infraroșu mediu și infraroșu termic. TM are rezoluții spațiale, spectrale și radiometrice mai ridicate decât scannerul MSS (fig.7).



**Fig. 53 Satelitul Landsat TM**

Thematic Mapper poate analiza o suprafață de 185 km lățime de la o înălțime de 705 km, fiind util pentru determinarea tipurilor și a condițiilor de vegetație, umiditatea solului, diferențierea zăpezii de nori, determinarea tipurilor de roci etc.

Rezoluția spațială a satelitului Landsat 5 TM este de 28.5x28.5 m pentru toate benzile, excepție făcând banda 6, cea termică, a cărei rezoluție spațială este de 120x120 m. Dimensiunea mărită a pixelului din banda 6 este necesară pentru îmbunătățirea adecvată a semnalului. Rezoluția radiometrică este de 8-bit, ceea ce înseamnă că fiecare pixel are o gamă de nivele de gri etalată între 0 și 255.

Sateliții LANDSAT TM au orbite cvasi-polare, repetitive (16 zile), heliosincrone și cvasicirculare și acoperă scene de circa 35000 km<sup>2</sup>, echivalentul a 250 de fotografii aeriene la scara 1:50000, format 23x23 cm, redresate (fără a considera acoperirea normală de 33% a acestora).

Sateliții LANDSAT 4 și 5 au fost proiectați pentru obținerea de imagini cu o geometrie diferită de cea a sateliților SPOT. Captarea imaginii se face prin baleiaj mecanic (scanning) perpendicular pe orbita satelitului. Corecțiile sunt mult mai dificil de realizat. Produsele Landsat sunt realizate în 11 nivele de preprocesare dintre care cele mai utilizate sunt următoarele :

- Nivelul 0 : Distorsiunile baleiajului sunt corectate ținând cont de geometria detectorului și de tipul de eșantionaj.
- Nivelul 1 : Imaginea este corectată radiometric.
- Nivelul 8 : Acest nivel corespunde nivelului SPOT 2A (fără puncte de reper).
- Nivelele 9 și 10 : corespund nivelelor 2B, respectiv Ortho la care se va face referire în capitolele următoare.

Detectorii înregistrează radiația electromagnetică în 7 benzi spectrale (tabelul 1); Benzile 1,2 și 3 se află în porțiunile vizibile ale spectrului și sunt utile pentru detectarea lucrărilor ingineresti de infrastructură, dar permit și studiul turbidității apei. Benzile 4, 5 și 7 se află în zona infraroșu a spectrului electromagnetic și sunt utilizate cu prioritate la delimitarea clară a suprafețelor terestre de cele acoperite cu ape, dar mai ales, la studiul vegetației. Banda 6 (infraroșu termic) se folosește la monitorizarea vegetației. O caracteristică importantă a acestui canal constă în faptul că energia captată este emisă de suprafața Pământului.

Satelitul Landsat 7 avea o capacitate de înregistrare de până la 500 de imagini pe zi. Aceste imagini puteau fi achiziționate și în format compresat corespunzător unei rezoluții de 180 m. Acest tip de produs putea fi pus la dispoziție în circa trei ore de la confirmarea comenzii și se consideră că monitorizarea mediului va beneficia în continuare (deși satelitul nu mai furnizează imagini datorită unor defecțiuni majore la modulul de stabilizare) de o referință istorică de mare utilitate pentru studiile de monitorizare temporală.

În mod obișnuit, pentru analizele de teledetecție, se utilizează combinații standard de benzi spectrale adaptate tematicii urmărite:

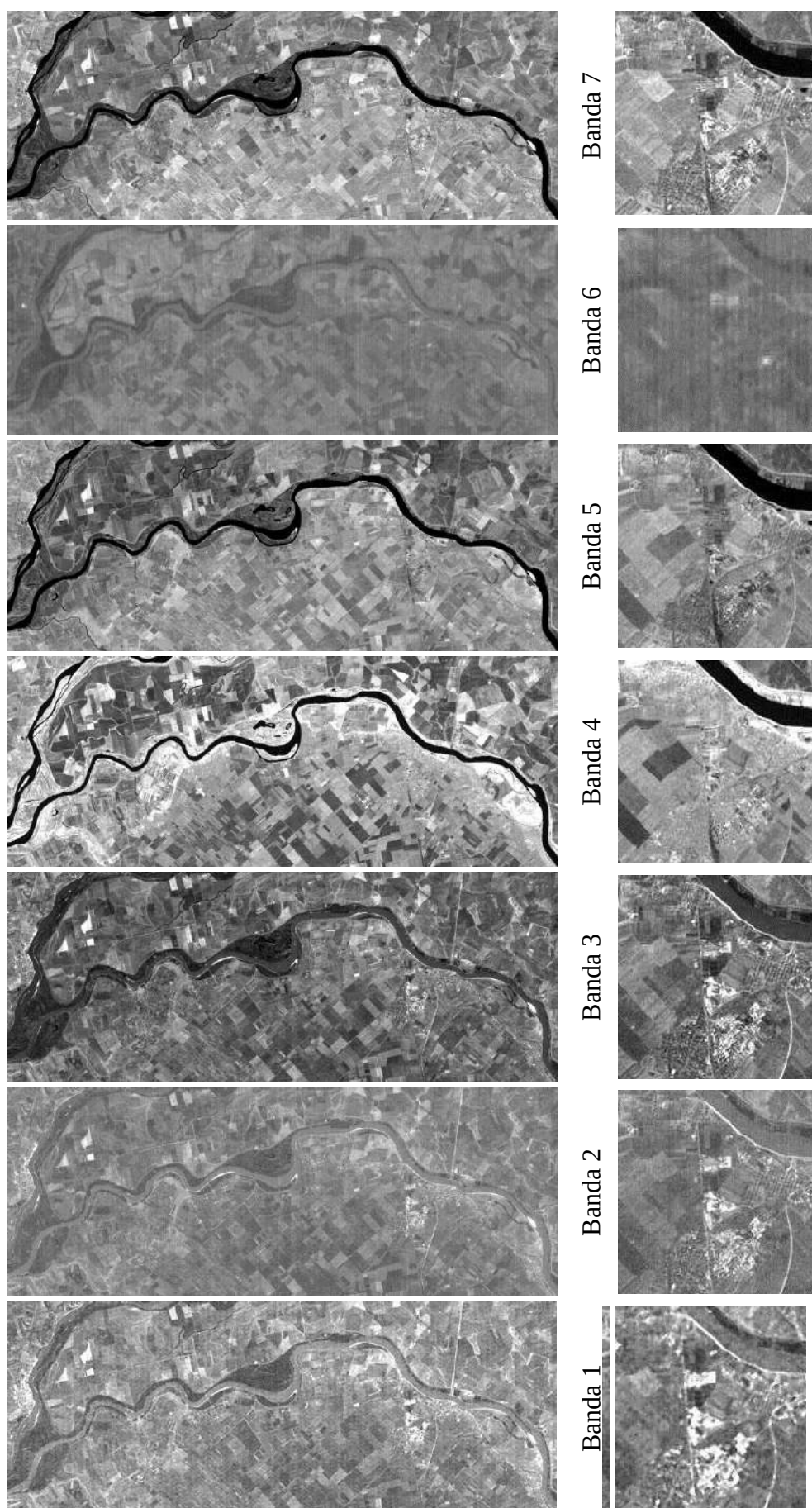
- benzile 3, 2 și 1 pentru a crea o compoziție în culori naturale , în care obiectele au culorile pe care ochiul le percepe în realitate (similare unei fotografii color) .
- benzile 4, 3 și 2 pentru a crea o compoziție în culori false, similare unei fotografii în infraroșu în care obiectele nu au aceleași culori ca în realitate, vegetația fiind reprezentată în culoarea roșie, apa în albastru închis sau negru, etc.
- benzile 5, 4 și 2 generează o compoziție în pseudo-culori. Într-o astfel de imagine culorile nu reflectă caracteristicile culorilor naturale (drumurile pot fi roșii, apa galbenă iar vegetația albastră).

Nu trebuie însă înțeles faptul că posibilități de combinare sunt limitate la cele enumerate mai sus, multe din aplicațiile tematice uzuale relevând, în funcție de tipul și condițiile aplicației,

o variabilitate interesantă de opțiuni. Modul de combinare și de prelucrare cu ajutorul programelor specializate de procesare a imaginilor de teledetecție depinde de modul în care a fost instruit operatorul și de mijloacele hardware și software (ERDAS Imagine, ENVI, PCI, GEOVIEW, SOCET SET de care dispune acesta.

**Tabelul 8. Benzile spectrale ale sateliților Landsat 4 și 5**

| <b>Banda</b> | <b>Lungimea de undă</b> | <b>Zona spectrală</b> | <b>Domeniu de utilizare și caracteristici</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | 0.45-0.52 (μm)          | albastru              | Utilă pentru cartografierea zonelor de coastă, pentru diferențierea sol/vegetație, observarea detaliilor din ape (în special turbiditatea), cartografierea suprafețelor forestiere și detectarea lucrărilor ingineresti (drumuri și șosele).                                                                                                      |
| 2            | 0.52-0.60 (μm)          | verde                 | Correspunde reflexiei culorii verzi a vegetației sănatoase, fiind utilă pentru detectarea lucrărilor ingineresti (drumuri și șosele) dar și observarea detaliilor din ape (în special turbiditatea).                                                                                                                                              |
| 3            | 0.63-0.69 (μm)          | roșu                  | Utilă pentru diferențierea diferitelor specii de plante și pentru determinarea limitelor diferitelor categorii de soluri și a structurilor geologice; de asemenea utila pentru detectarea lucrărilor ingineresti.                                                                                                                                 |
| 4            | 0.76-0.90 (μm)          | infraroșu apropiat    | răspunde în mod deosebit la determinarea biomasei vegetale dintr-o scenă. Este utilă pentru identificarea culturilor și scoaterea în evidență a contrastelor sol/cultură și pamânt/apă. Poate fi utilizată la delimitarea suprafețelor acvatice și terestre.                                                                                      |
| 5            | 1.55-1.74 (μm)          | infraroșu mediu       | Este o bandă sensibilă la cantitatea de apă din plante, fiind, deci, utilă la studierea fenomenului de secetă și analizarea stadiului de dezvoltare a plantelor. Este, de asemenea, utilă pentru deosebirea pe imagine a norilor de zăpadă și, respectiv, de gheață dar și pentru delimitarea suprafețelor acvatice și terestre.                  |
| 6            | 10.40-12.50 (μm)        | infraroșu termic      | Utilă pentru determinarea stadiului vegetativ, a intensității căldurii, efectelor aplicării insecticidelor și pentru localizarea poluării termale. Poate fi folosită, de asemenea, pentru localizarea activității geotermale. Energia captată în banda 6 este emisă de suprafața Pământului fiind posibilă achiziția de date și în timpul nopții. |
| 7            | 2.08-2.35 (μm)          | infraroșu depărtat    | Bandă importantă pentru deosebirea tipurilor de roci, a limitelor tipurilor de soluri și pentru determinarea gradului de umiditate a solului și activității clorofilene a vegetației. Se folosește la delimitarea suprafețelor acvatice și terestre.                                                                                              |



**Fig. 54 Fereastră reprezentând cele 7 benzi spectrale Landsat TM 182-29 în zona brațului Borcea (sus) și un detaliu în zona orașului Fetești (jos)**

## 7.2. Programul SPOT

Primul sistem european de teledetecție pentru observarea Pământului cu orbită cvasipolară SPOT, realizat de Centrul Național de Studii Spațiale (CNES) din Franța, a devenit operațional în 1986. Satelitul SPOT 1 a fost urmat în 1990 și în 1993 de SPOT 2 și 3. Senzorii sateliților din această serie au fost proiectați pentru a opera în două moduri, multispectral (XS - cu rezoluție de 20 m la sol) și pancromatic (P - rezoluție 10 m la sol).

### 7.2.1. *Părțile componente ale satelitului*

Satelitul este proiectat pentru a prelua imagini pe care apoi să le transmită către instalațiile de la sol., fie în mod direct, fie prin stocare temporară la bord. Satelitul este constituit din două părți:

- Sarcina utilă;
- Platforma multimisiune

#### 7.2.1.1. *Sarcina utilă*

Pentru sateliții SPOT 1, SPOT 2 și SPOT 3, sarcina utilă este constituită din :

- două instrumente optice identice HRV (Haute Resolution Visible);
- un ansamblu de înregistrare a datelor pe bandă magnetică;
- un ansamblu de teletransmisie la sol.

#### 7.2.1.2.. *Platforma multi-misiune*

Platforma asigură ansamblul funcțiunilor necesare îndeplinirii misiunilor programate:

- menținerea precisă a poziției pe orbită;
- stabilizarea pe trei axe;
- alimentarea cu energie electrică;
- controlul termic;
- telemăsura și întreținerea;
- telecomanda;
- programarea sarcinii utile cu ajutorul calculatorului de bord a cărui memorie este încărcată prin telecomandă;

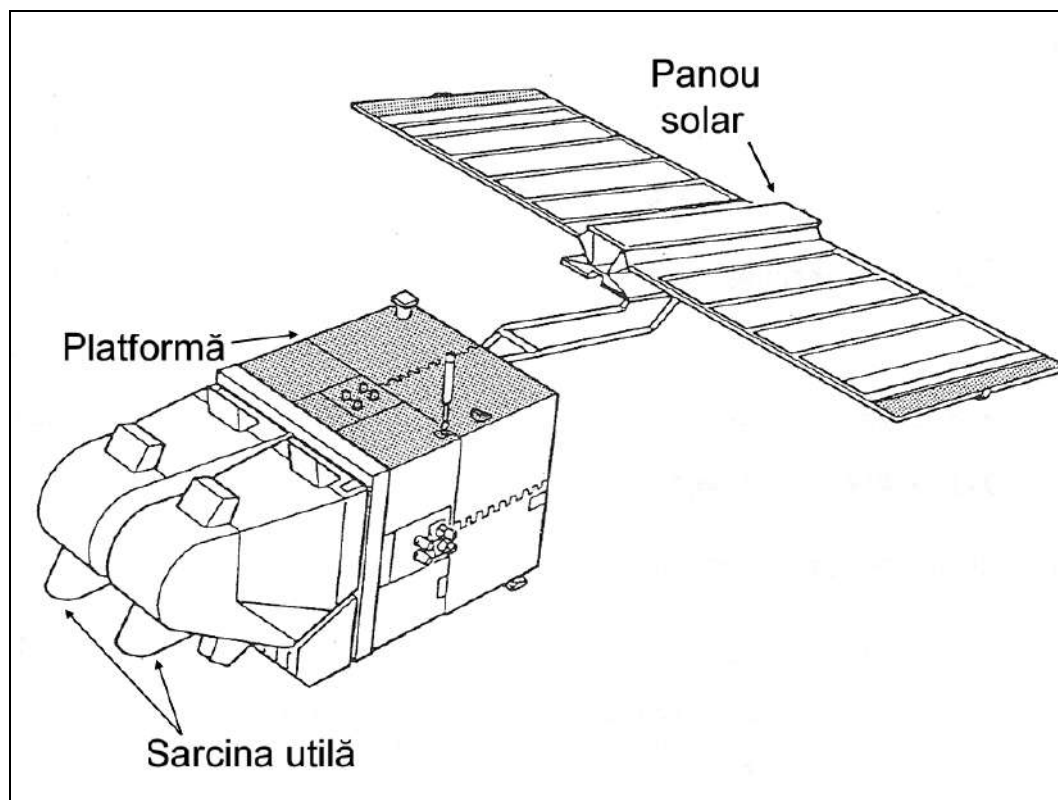


Fig. 55 Vedere de ansamblu a platformei multimisiune tip SPOT 1,2,3

#### 7.2.1.3. Caracteristicile optice ale satelitului

Imaginea se realizează cu ajutorul unei combinații catadioptrice derivate a telescopului tip Schmidt. Vizele oblice sunt realizate cu ajutorul unei oglinzi orientabile plasată la intrarea instrumentului numită „oglină de schimbare a vizei-(MCV)”. Printr-o orientare convenabilă, este posibilă observarea unor regiuni care nu se află la verticala satelitului.

Preluarea de imagini înclinate antrenează deformări care pot fi corectate cu ajutorul unor algoritmi extrem de bine puși la punct în vederea exploatării stereoscopice a cuplurilor de imagini preluate de pe orbite alăturate. Această modalitate de înregistrare succesivă poate fi programată de la stațiile de control terestre și reprezintă o soluție foarte utilă în unele situații în care rapiditatea de analiză și intervenție are o importanță crucială (dezastre naturale sau generate de om).

##### 7.2.1.3.1. Bareta de detectori

Detectorii utilizați sunt de tip CCD (dispozitive cu transfer de sarcină) cele 6000 de fotodiode asamblate în linie cu un pas de 13  $\mu\text{m}$  permit analizarea concomitentă a unei linii de peisaj de 60 de kilometri lungime orientată perpendicular pe direcția de deplasare a satelitului. Datorită problemelor tehnologice cele 6000 de fotodiode nu sunt integrate în același bloc funcțional cuplate printr-un bloc de joncțiune.

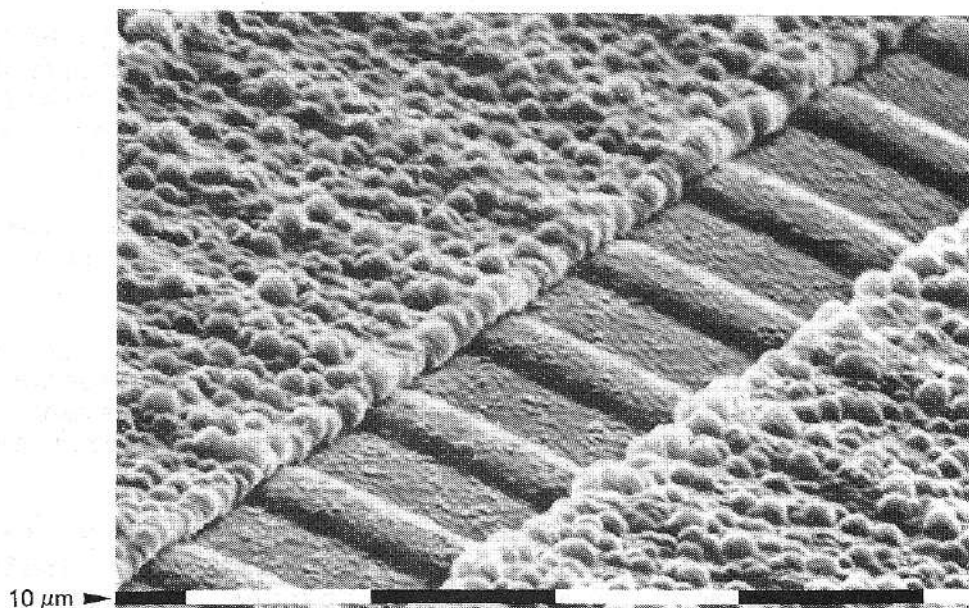


Fig. 56 Porțiuni din bareta de detectori (7 elemente)

#### 7.2.1.3.2. Sistemul electronic de decompoziție

Pentru efectuarea corectă a registrației între benzi trebuie să fie realizate operațiuni de corectare matematică bazate pe cunoașterea cu exactitate a caracteristicile optico mecanice ale instrumentului.

Pentru sateliții SPOT 1,2 și 3, imaginile pancromatică și cea multispectrală, obținute în același timp și prin același instrument, nu sunt strict suprapuse. Pozițiile diferite ale baretelor CCD în planul focal al instrumentului (R-2) pot induce un efect de paralaxă în special pentru regiunile cu relief accidentat. Acest neajuns este corectat pe baza unor algoritmi de transformare obținuți în urma etapei de calibrare a instrumentelor imediat după lansare.

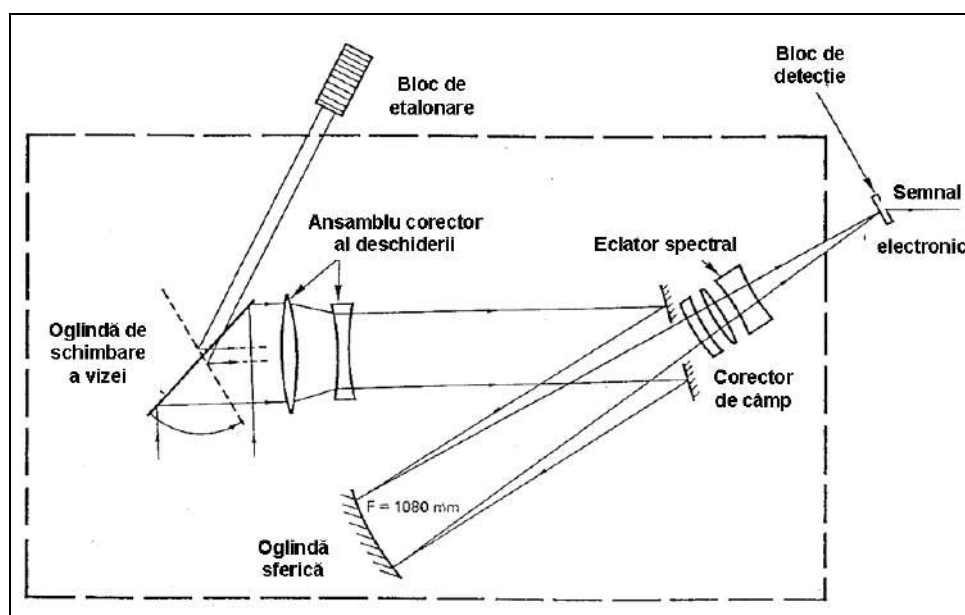


Fig. 57 Funcționarea sistemului electronic de decompoziție spectrală



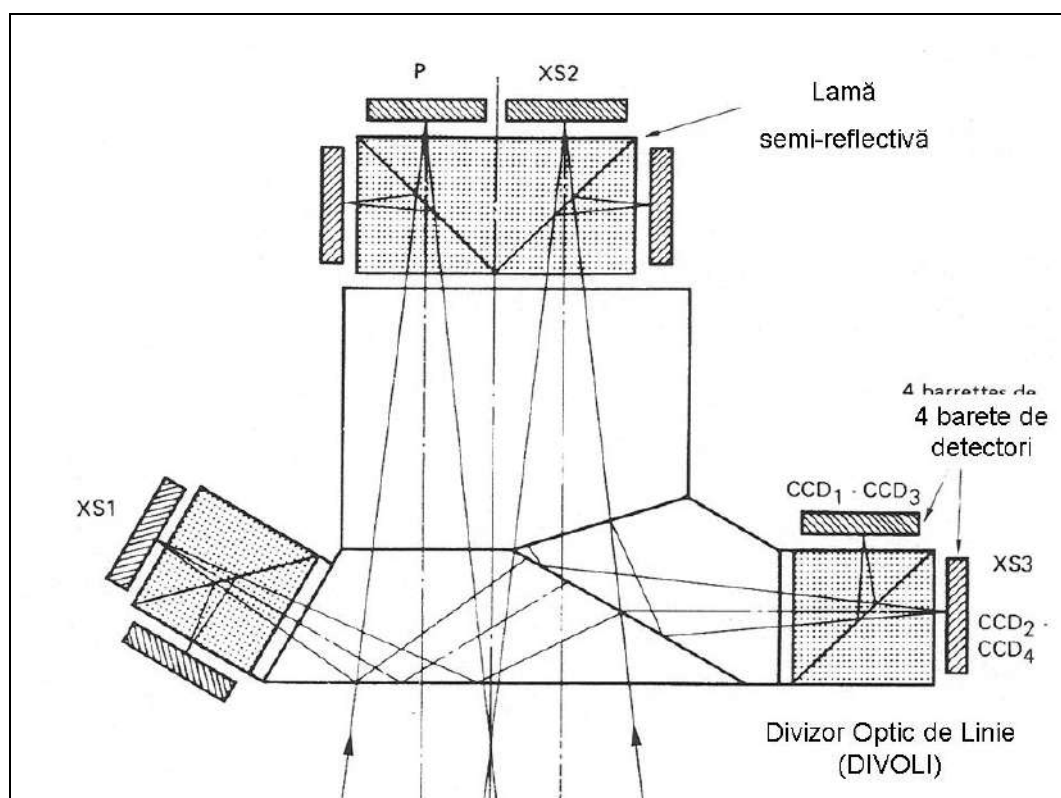


Fig. 58 Cei patru divizori optici de linie (DIVOLI)

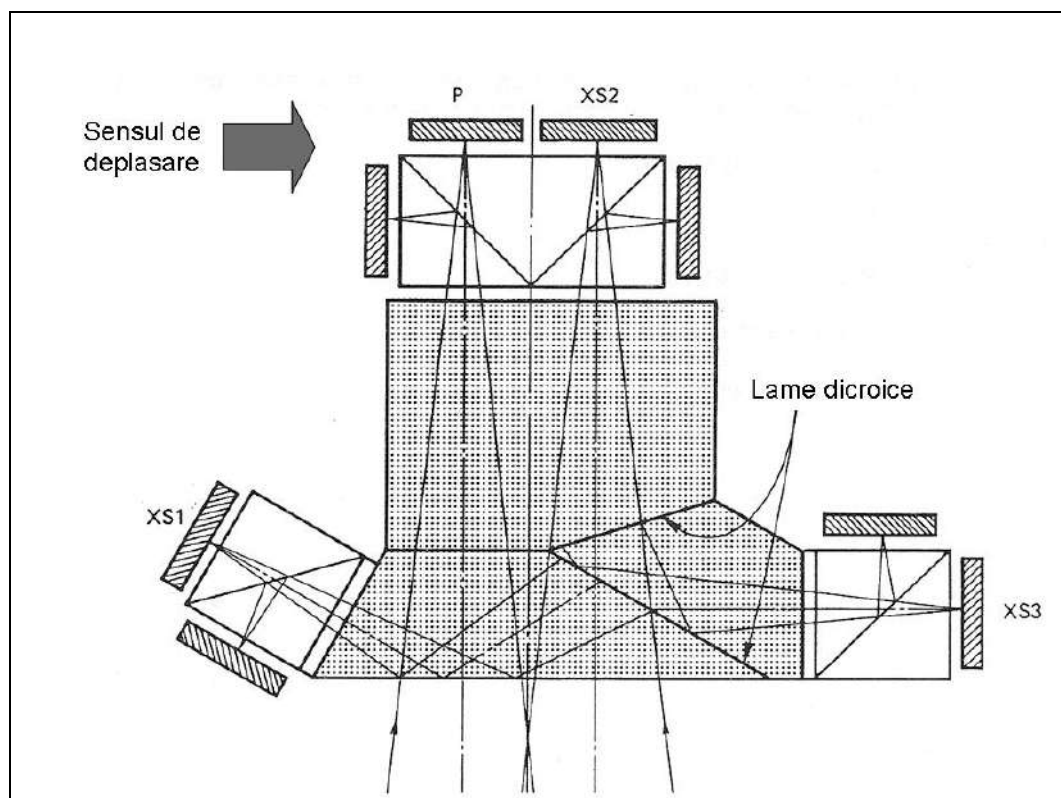


Fig. 59 Principiul separări spectrale a canalelor SPOT 1,2,3

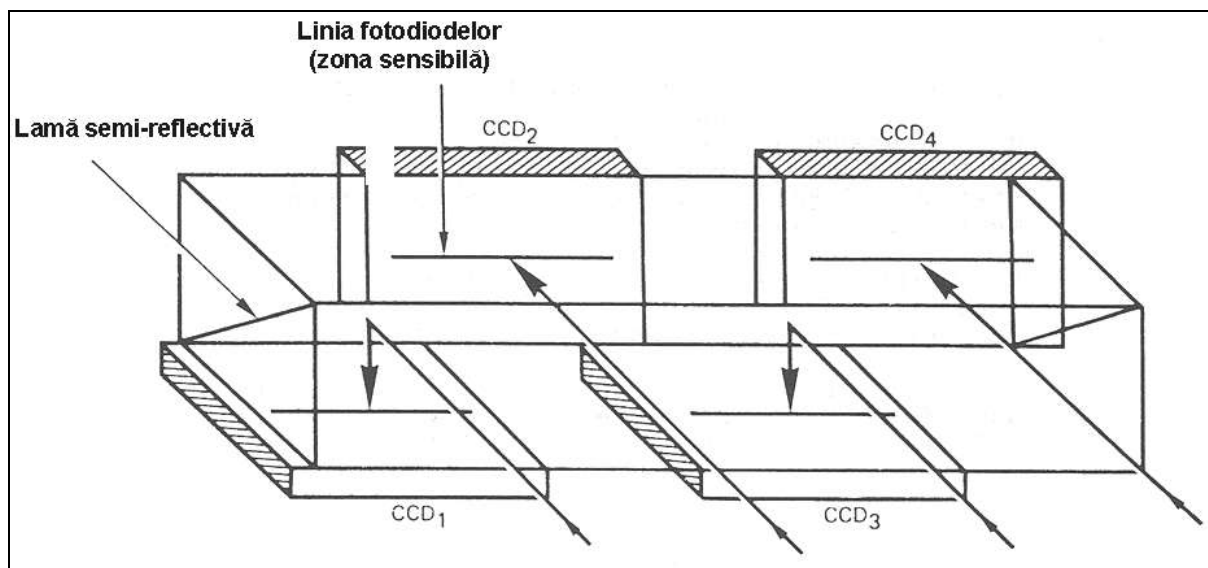


Fig. 60 Cele patru barete de detectori

#### 10.2.1.3.3. Direcțiile de vizare în mod P și XS

Prin contrast, toate benzile (XS1, XS2 și XS3) din zona multispectrală sunt perfect superpozabile. Linia imagine obținută la un moment dat de unul dintre instrumentele HRV este de aproximativ +7,5 km în fața punctului de sub satelit în pancromatic și -7,5 km în spatele punctului de sub satelit în multispectral.

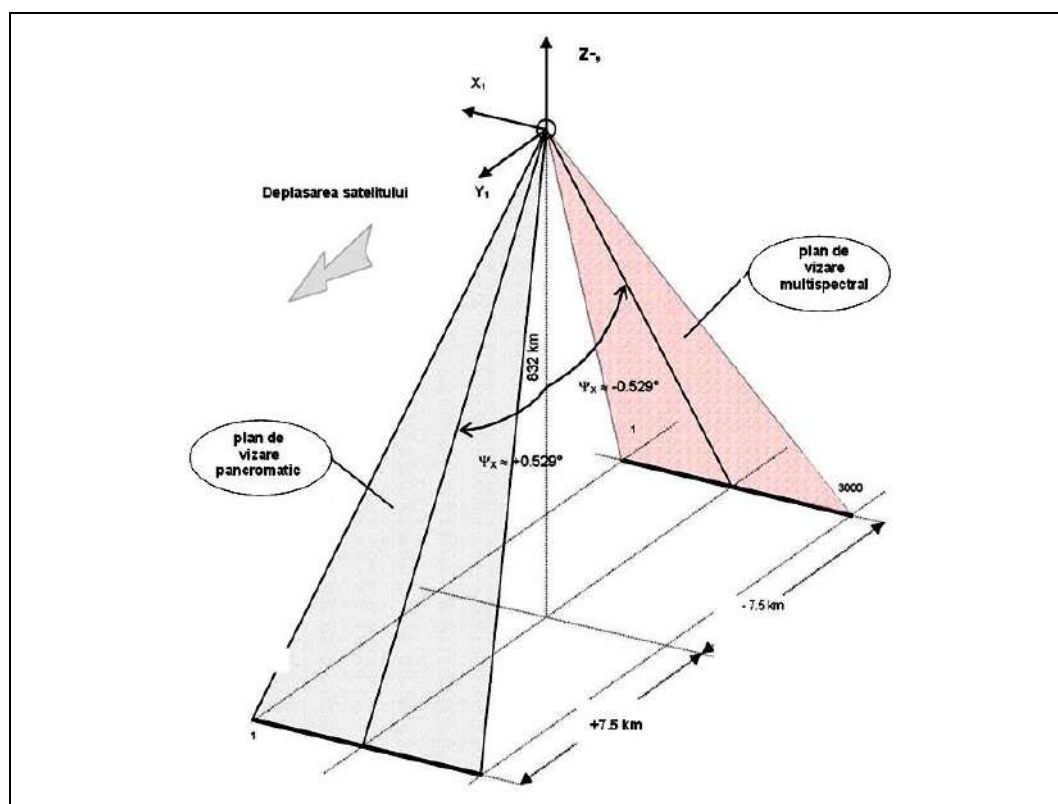


Fig. 65 Direcțiile de vizare în pancromatic și multispectral

În consecință, în vizare verticală:

- Direcția care trece prin centrul fiecărui detector în benzile XS1, XS2, XS3 intersectează o serie de puncte situate la o distanță egală pe un plan perpendicular pe Z1. Directivitatea compatibilă cu detectorul central prezintă un unghi specific la  $-0,529^\circ$  fata de Z1. Direcțiile detectorului pentru benzile de XS1, XS2 și XS3 sunt coincidente;
- Direcția care trece prin centrul detectorului PAN se intersectează cu o serie de puncte echidistante situate pe un plan perpendicular pe Z1. Direcțiile care determină mijlocul celor două detectoare centrale prezintă un unghi specific la  $0,529^\circ$  fata de Z1.

Practic, datorită diferențelor de instrumente dintre sateliții SPOT, este necesar să se citească unghiurile de vizare ( $\Psi_X$ ,  $\Psi_Y$ ) pentru a se realiza un model fizic de precizie.

În cazul satelitului SPOT4, s-a stabilizat defectul de suprapunere monospectral (M) / multispectral (XS) observat la SPOT1, 2 și 3. Liniile de imagine monospectrală se afla în output-ul detectorului B2, care este, de asemenea, utilizat pentru obținerea benzii de imagine XS2. Aceasta caracteristică permite crearea așa-numitelor "produse Merge", inclusiv a benzilor multispectrale XS cu o rezoluție de 10 metri.

Din punct de vedere fizic, detectoarele matriciale compatibile cu benzile XS1, XS2 și XS3 sunt ansambluri de patru CCD 1500. În modul multispectral, output-ul a două CCD-uri adiacente produce, în medie, 3000 de valori radiometrice pe linie.

Această diferență de directivitate este corectată în produsele distribuite utilizatorilor, prin interpolarea liniilor succesive de achiziție.

Tehnologia pentru detectorul SWIR este mult mai complexă. Matricea SWIR este un ansamblu de 10 elemente, fiecare având 300 de detectoare. În cadrul fiecărui element, detectoarele pare și impare sunt situate de-a lungul a două linii paralele.

#### *7.2.1.4. Caracteristici mecanice și electronice*

Masa totală a satelitului la începutul misiunii a fost de 750 kg pentru o dimensiune a platformei de 2x2x3,5m. Lungimea totală a panoului solar este de 15,60 m, masa instrumentului HRV este de 250 kg, iar lungimea totală a instrumentelor este de 2,5m.

Din punct de vedere al părții electronice încărcătura (sarcina) utilă comportă două canale de telemăsură cu următoarele caracteristici:

- debitul informației este de 25Mbit/s pe canal de telemăsură (25Mbit/s în total)
- codajul măsurătorilor corespunzătoare unui pixel este de 3,8 biți în mod multibandă și de 6 biți pentru modul pancromatic.

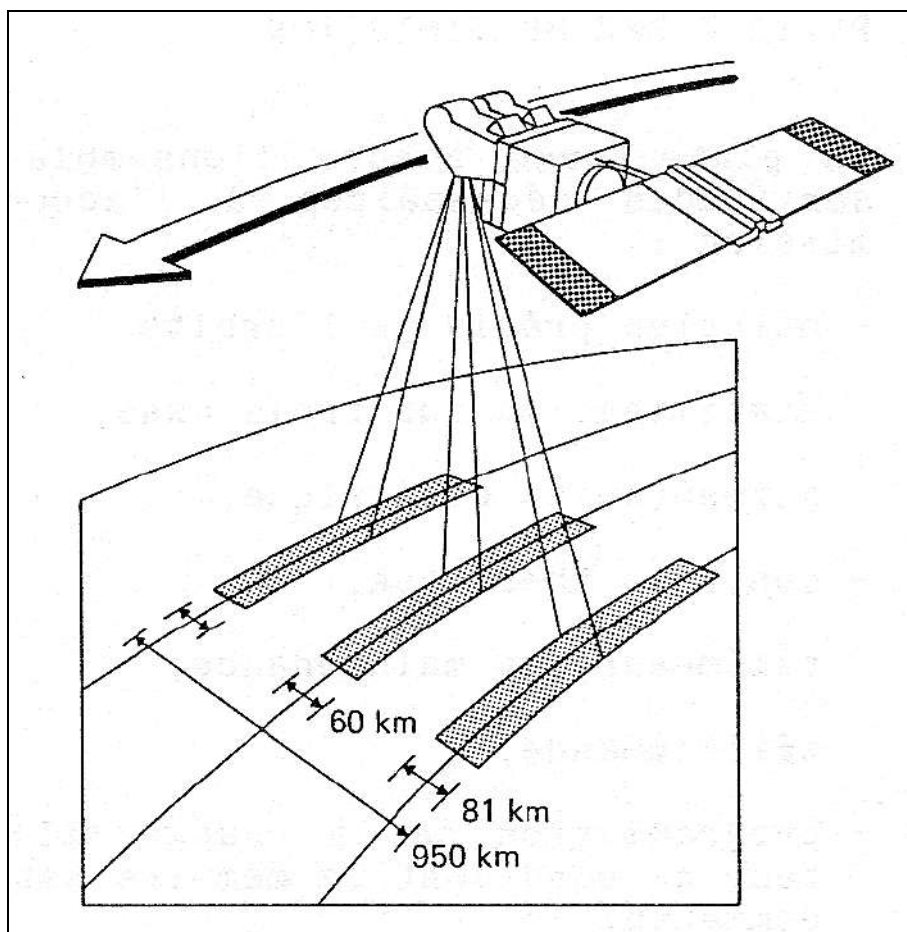


Fig. 61 Observarea culorilor acoperite la sol în viză verticală și oblică

Pozițiile sateliților SPOT 2 și SPOT 4 nu au suferit modificări din punct de vedere al fazării pe orbită. În ceea ce privește fazarea, SPOT 4 se afla înainte cu aproximativ un sfert de orbită, în raport cu SPOT2 ( $97^\circ$  defazare orbitală), iar SPOT5 este amplasat cu  $97^\circ$  înaintea lui SPOT4.

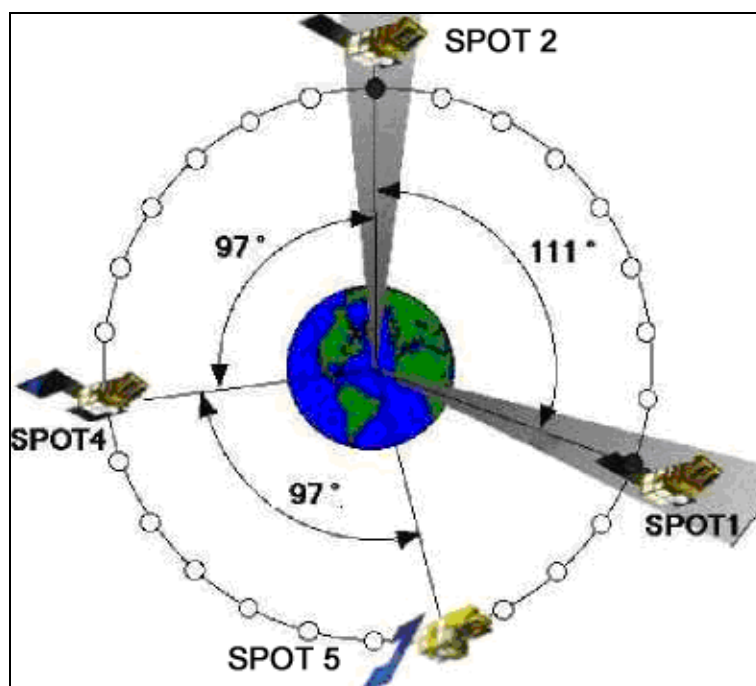


Fig. 62 Pozițiile orbitale ale sateliților SPOT 1,2 4 și 5

#### 7.2.1.5. Alte caracteristici constructive importante ale sateliților SPOT 1,2,3

În cazul benzilor spectrale utilizate în mod multi-bandă (XS), observarea este efectuată în trei lungimi de undă (canale spectrale): verde (0,5-0,59 $\mu$ m), roșu ((0,61-0,68  $\mu$ m) și în infraroșu apropiat (0,79-0,89  $\mu$ m). În cazul modului pancromatic, observarea este efectuată în banda spectrală (0,51-0,73 $\mu$ m).

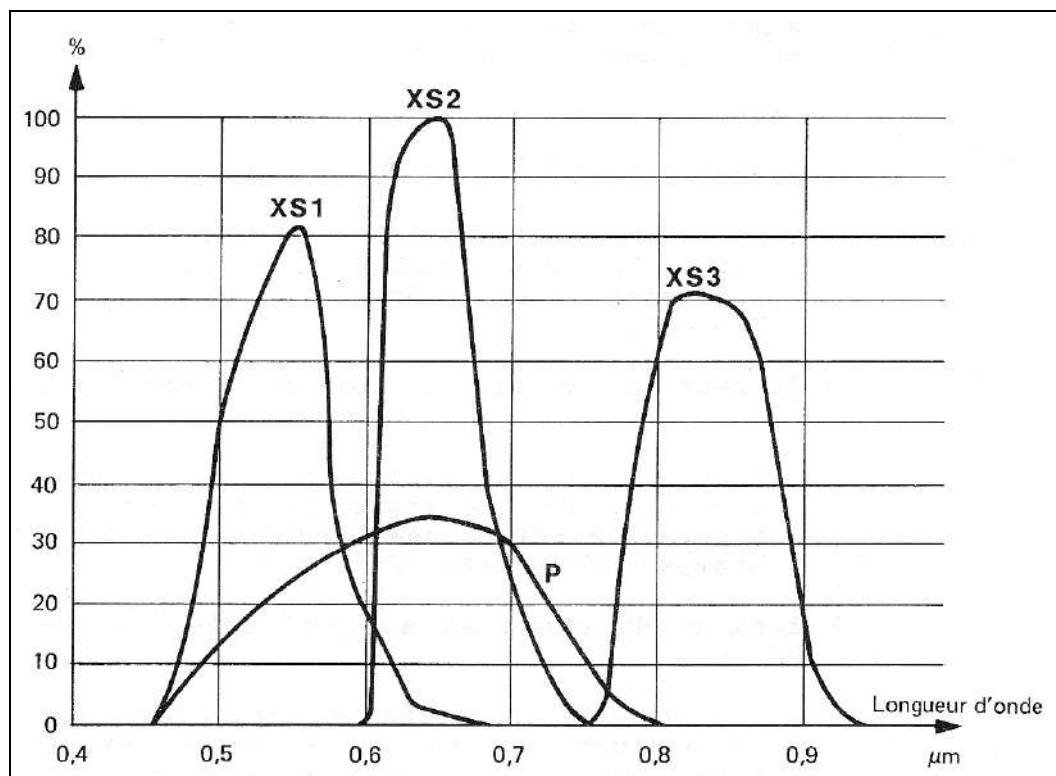
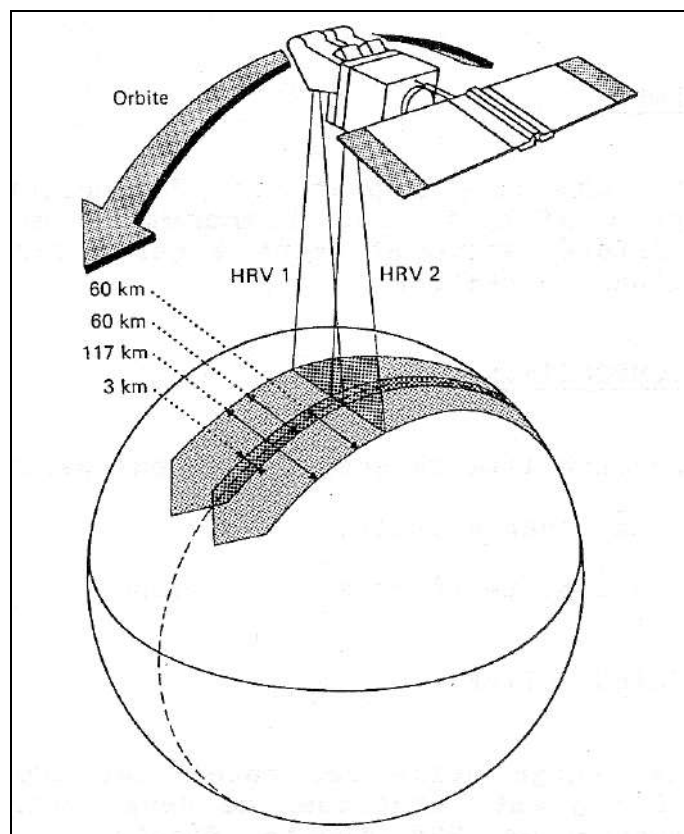


Fig. 638 Sensibilitatea spectrală tipică a instrumentelor SPOT 1,2, 3

În funcție de obiectivele misiunii SPOT, caracteristicile principale au fost construite pentru funcționarea optimă a instrumentelor optice:

- unghiul de câmp (deschiderea) instrumentului în mod pancromatic și multibandă (multispectral): 4,13°;
- diafragma echivalentă F/3,3 pentru o focală de 1082 mm;
- puterea de mărire (grosimentul) aproximativ 1/770000 (în cazul unui element pancromatic raportul dintre dimensiunea elementului fotosensibil și pasul de eșantionaj la sol);
- pasul de eșantionaj în viză verticală: 10 m (în mod pancromatic), respectiv 20 m (în mod XS);
- lărgimea câmpului în viză (*en.=swath*) verticală: 60 km. Dacă cele două instrumente înregistrează în viză verticală de tip „W”, câmpul acoperit este de 117 km, asigurând o acoperire de 3 km între câmpurile individuale (Fig. 49);
- lărgimea câmpului în viză oblică : între 60 și 81 de kilometri.



**Fig. 64 Observarea benzilor spectrale în viză verticală**

Cele două instrumente de achiziție HRV 1 și HRV 2 (întă rezoluție în vizibil) au fost proiectate pentru a funcționa în mod independent asigurând înregistrarea datelor în mod linie cu linie (pushbroom), asigurându-se, astfel, o omogenitate geometrică perfectă pe fiecare linie. Fiecare instrument măsoară radiația reflectată de obiectele de pe suprafața terestră cu ajutorul detectorilor dispuși în linie pe o baretă, 3000 în mod multibandă sau 6000 în mod pancromatic.



**Fig. 65 Fereastră din imaginea SPOT Pancromatic (din zona orașului Fetești)**



Pe lângă frecvența obișnuită la revenirea pe aceeași orbită la 26 de zile, satelitul SPOT, are posibilitatea să asigure înclinarea instrumentelor de captare cu  $\pm 27^\circ$  față de verticală, ceea ce corespunde unui culoar larg de circa 425 km. la sol față de proiecția orbitei satelitului.

Această caracteristică oferă posibilitatea de a observa o anumită zonă repetat, mai multe zile consecutiv, de pe orbite alăturate, fiind permisă exploatarea stereoscopică a cuplurilor respective, dar și îmbunătățirea frecvenței de observare a unui punct în cursul unui ciclu orbital. Această frecvență variază cu latitudinea. Astfel, la ecuator o regiune poate fi observată de 7 ori în intervalul de 26 de zile ale ciclului orbital, ceea ce corespunde la 98 de imagini pe an (o medie teoretică de 3,7 zile), iar la latitudinea de  $45^\circ$  observarea este permisă de 11 ori pe ciclu, adică de 157 de ori pe an (o medie teoretică de 2,4 zile), cu un interval de 1-4 zile (Fig. 71 și 72).

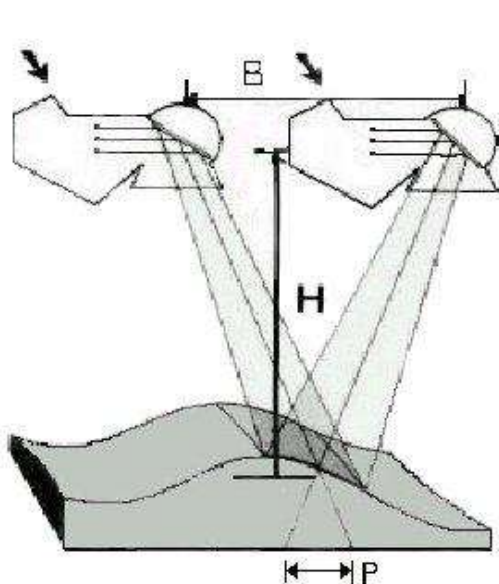


Fig. 66 Principiul stereoscopiei SPOT

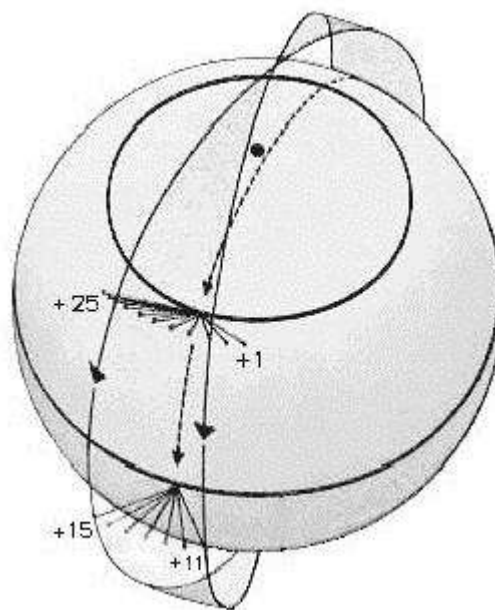


Fig. 67 Înregistrare repetitivă a scenelor SPOT

Preluarea de imagini înclinate antrenează deformații care pot fi corectate cu ajutorul unor algoritmi extrem de bine puși la punct în vederea exploatarei stereoscopice a cuplurilor de imagini preluate de pe orbite alăturate. Această modalitate de înregistrare succesivă poate fi programată de la stațiile de control terestre și reprezintă o soluție foarte utilă în unele situații în care rapiditatea de analiză și intervenție are o importanță crucială (dezastre naturale sau generate de om).

În funcție de domeniul de utilizare Scenele SPOT pot fi achiziționate la diferite nivele de preprocesare:

- Nivelul 1A : este un nivel brut pentru care este realizată numai calibrarea sistematică a detectorilor fără corecții geometrice.
- Nivelul 1B : imaginea este corectată de deformațiile geometrice și radiometrice (reeșantionarea imaginii) cauzate de sistemul de captare.

- Nivelul 2A: sunt realizate corecții bidimensionale pentru restituția scenei într-un sistem cartografic cunoscut (Lambert, UTM). Corecțiile sunt realizate ținând cont numai de datele de altitudine a satelitului necesitând, însă, prelucrări suplimentare la utilizator.
- Nivelul 2B: este un nivel de preprocesare pentru care corecțiile sunt realizate pe baza punctelor de reper cunoscute.
- Nivelul Ortho (numit de asemenea 3): se realizează redresarea deformațiilor datorate reliefului utilizând date provenite din modelul numeric al terenului (MNT). Produsul final se numește orto-imagine.

Din 1986, sateliții SPOT au achiziționat imagini ale Pământului. Cu excepția lui SPOT3 care a oprit achiziționarea în noiembrie 1996, SPOT 1, 2 și 4 au format o constelație care a fost întregită prin lansarea satelitului SPOT 5.

Primele trei misiuni SPOT 1,2,3 fac parte din grupul sateliților de prima generație, cel de-al patrulea satelit (SPOT4) reprezintă a doua generație, superioară ca tehnologie în ceea ce privește sarcina utilă și noi capabilități de poziționare.

Odată cu cel de-al patrulea satelit a fost imbarcat așa numitul senzor VEGETATION, cu un câmp larg de observare, dar cu rezoluție geometrică scăzută. Obiectivul principal al sistemului este furnizarea de măsurători operaționale precise asupra anumitor caracteristici simple ale covorului vegetal, utile studiilor științifice care necesită experimentări la nivel regional și local (Tabelul 9).

**Tabelul 9. Benzile spectrale SPOT**

| <b>Banda</b> | <b>Lungimea de undă</b>                            | <b>Zona spectrală</b> | <b>Utilizare</b>                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------|----------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | 0.50-0.59                                          | verde                 | Correspunde reflectanței în verde a vegetației sănătoase                                                                                                                                                                                 |
| 2            | 0.61-0.68μm                                        | roșu                  | Utilă pentru deosebirea speciilor de plante. Este, de asemenea, folosită la delimitarea pedologică și geologică                                                                                                                          |
| 3            | 0.79-0.89μm                                        | infraroșu apropiat    | Această bandă oferă în mod deosebit informații despre cantitatea de biomasă vegetală prezentă într-o scenă. Este o bandă utilă pentru identificarea culturilor și pentru scoaterea în evidență a contrastelor sol/cultură și pământ/ apă |
| 4            | 0.51-0.73 μm (SPOT 1,2,3)<br>0.59-0.75 μm (SPOT 4) | pancromatic           | sensibil la toate culorile vizibile are o rezoluție de 10 m și este similară unei fotografii alb-negru                                                                                                                                   |
| 5            | 1.58-1.73 μm (SPOT 4)                              | infraroșu mediu       | caracteristici simple ale covorului vegetal, experimentări la nivel regional și local                                                                                                                                                    |

Prin combinarea sincronă cu datele înregistrate de ceilalți senzori SPOT pot fi elaborate măsurători simultane la mai multe scări. Produsele standard furnizate de sistem acoperă un câmp de vedere de aproximativ 2200 de kilometri, cu o rezoluție spațială de 1,15 kilometri în ambele direcții. Pentru latitudini mai mari de 35 de grade nord sau sud este disponibilă cel puțin o imagine pe zi, pentru zonele ecuatoriale oricare zonă fiind acoperită în proporție de 90%.



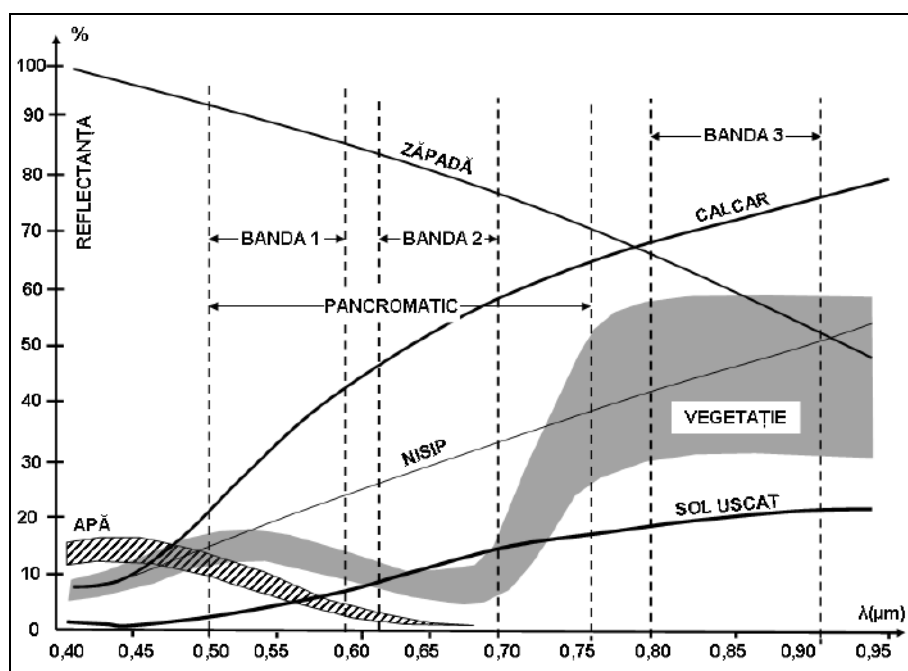


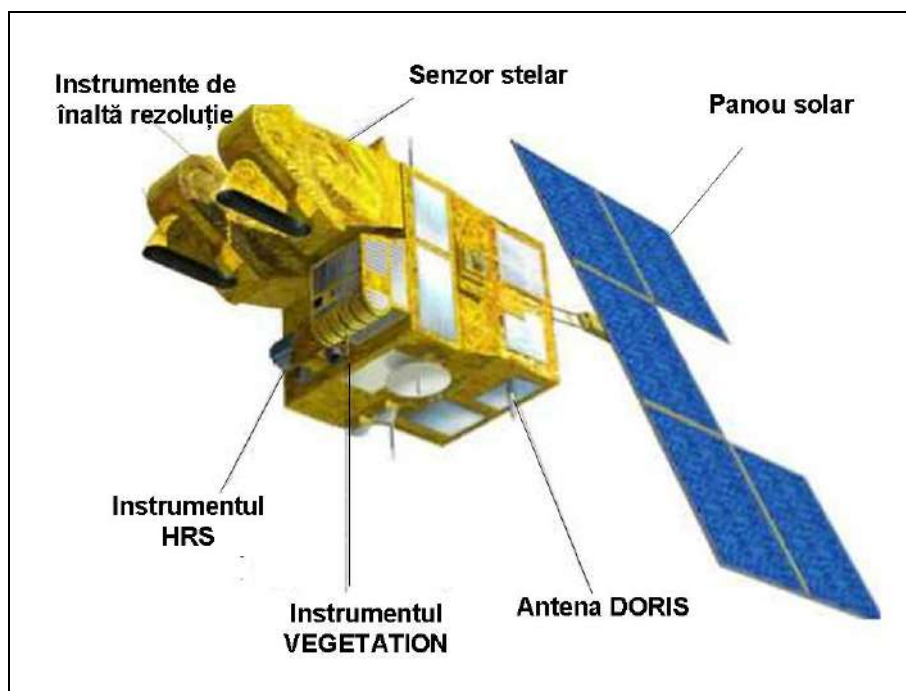
Fig. 68 Caracteristicile spectrale ale senzorilor SPOT 1-3

Programul VEGETATION este rezultatul cooperării internaționale la care au participat Franța, Belgia, Italia, Suedia și Comisia Europeană. Imaginea din fig.8 a fost realizată după ce s-au parcurs toate etapele de preprocesare (egalizarea detectorilor, registrația benzilor spectrale și corectarea iluminării solare pentru obținerea maximului de reflectanță atmosferică). De asemenea, a fost realizată transformarea geometrică pentru reprezentarea cartografică plană. Rezoluția spațială rămâne foarte stabilă datorită concepției avansate a instrumentului. În această imagine norii (în alb) și zăpada (în magenta intensă) se diferențiază cu claritate datorită benzii IR în unde scurte. Norii de mare altitudine (care conțin ace de gheață) sunt identificați în culoarea magenta mai puțin saturată. Acoperirea terenului este înfățișată într-o varietate de tonuri care ilustrează capacitatea de discriminare a senzorului VEGETATION.

### 7.2.2. Satelitul SPOT 5

Misiunea SPOT 5 face parte din cea mai nouă generație de misiuni SPOT cu îmbunătățiri semnificative în ceea ce privește instrumentele bord și sistemul propriu de control al poziționării și altitudinii, ceea ce permite o înaltă precizie a localizării.

La data de 4 mai 2002, Centrul Național de Studii Spațiale Francez (CNES) a lansat de la centrul spațial din Guyana Franceză, cu ajutorul unei rachete purtătoare Ariane 42P, satelitul SPOT 5. După efectuarea corecțiilor de traiectorie satelitul a fost plasat pe o orbită definitivă situată în același plan orbital cu sateliții SPOT 2 și 4, de altfel, cei trei sateliți operaționali pe orbită care asigură continuitatea programului cel puțin până în anul 2007. Chiar dacă satelitul SPOT 1 a păstrat parametrii optimi de funcționare, a fost menținut în stare de veghe deoarece echipamentele de la sol nu permit decât gestionarea a trei sateliți simultan. Totuși, în caz de necesitate, CNES avea posibilitatea de a reactiva satelitul pentru utilizare intensivă la capacitate și calitate maximă.



**Fig. 69 Satelitul SPOT 5 și componentele sale**

Pentru proiectarea și construirea satelitului SPOT 5, CNES a colaborat cu societăți de renume specializate în domeniul spațial:

- ASTRUM care a construit platforma și instrumentele HRG și HRS;
- ALCATEL ESPACE care a furnizat instrumentele de telemăsură și VEGETATION;
- SPOT IMAGE a organizat segmentul de la sol și comercial;
- CLS (Collect Localization Satellite) a asigurat accesul la sistemul DORIS;
- ARIANESPACE pentru serviciul de lansare a satelitului.

SPOT 5 păstrează caracteristicile tehnice ale sateliților precedenți din serie:

- orbită circulară cvasipolară, heliosincronă;
- deschiderea (câmpul de vedere al celor două instrumente) de 60 km;
- capacitatea de preluare oblică laterală de +/- 27° față de verticală;
- benzile spectrale B1(verde 0,50-0,59  $\mu\text{m}$ ), B2(roșu 0,61-0,68 $\mu\text{m}$ ), B3(infraroșu apropiat 0,79-0,89 $\mu\text{m}$ ), MIR(infraroșu mediu 1,58-1,75 $\mu\text{m}$ ) și P(pancromatic 0,49-0,69 $\mu\text{m}$ ).

Pe lângă aceste calități, SPOT 5 reprezintă, fără îndoială, cel mai spectaculos salt tehnologic în teledetecția operațională civilă din ultimul deceniu, progres care permite deschiderea unor noi perspective în domeniul utilizării imaginilor spațiale de înaltă rezoluție, dar și al stereoscopiei. Trebuie menționat faptul că satelitul continuă programul VEGETATION asigurând observarea globală a planetei în tandem cu SPOT 4. Pe lângă acestea trebuie analizate

și elementele de noutate care fac din SPOT 5 cel mai modern suport pentru procesarea și interpretarea imaginilor de înaltă rezoluție:

- rezoluția geometrică în mod multispectral de 10 m;
- rezoluția geometrică în mod pancromatic de 5 m;
- rezoluția geometrică atingând 2,5 m în mod THR-SUPERMODE (două canale în pancromatic decalate cu jumătate de pixel și procesate prin metode matematice);
- un nou instrument HRS (înaltă rezoluție stereoscopică) conceput special pentru a obține cupluri stereoscopice în lungul traiectoriei. Acest mod de achiziție permite optimizarea generării Modelului Numeric al Terenului pentru aria observată;
- o mai mare precizie de localizare, sub 50 m, fără a utiliza puncte de calibrare. Acest avantaj este facilitat de senzorul stelar cuplat cu navigatorul DIODE al sistemului DORIS care măsoară foarte precis altitudinea sateliților pe orbită;
- datorită creșterii capacității de procesare la bordul satelitului de la 2 la 5 imagini simultan este posibilă obținerea de imagini compacte de 120 de km lărgime (perpendicular pe axa de deplasare a satelitului);
- beneficiind de un nou sistem de înregistrare cu memorie solidă cu o capacitate de 90 Gb, înlocuind sistemul cu benzi magnetice, se pot stoca la bord trei imagini de 50 Mb fiecare până când satelitul ajunge în raza de acțiune a unei stații de recepție pentru descărcare la sol;
- este posibilă înregistrarea de până la 550 de scene în fiecare zi;
- instrumentul VEGETATION 2 cu caracteristici îmbunătățite.

#### 7.2.2.1. Instrumentele satelitului SPOT 5

##### **Instrumentul HRG (Haute Résolution Géométrique – Înaltă Rezoluție Geometrică).**

Satelitul este echipat cu două instrumente HRG capabile să genereze date la patru nivele de rezoluție pentru un câmp de 60 de km:

- imagini în infraroșu mediu la 20 m (banda MIR);
- imagini multispectrale la 10 m (benzile B1, B2, B3);
- imagini pancromatice la 5m (banda P);
- imagini pancromatice SUPERMODE la 2,5 m (banda THR).

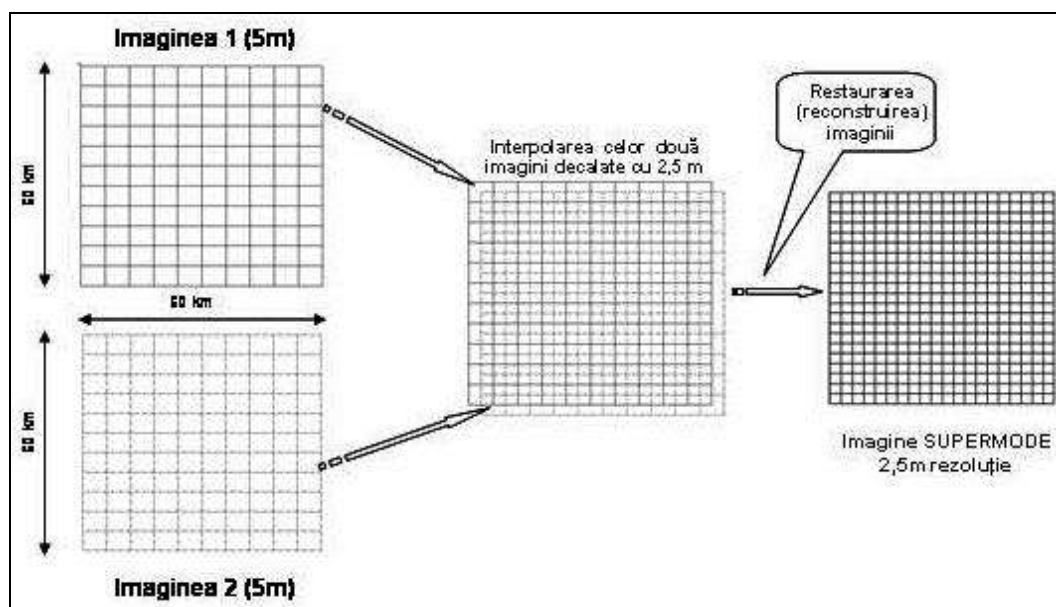
Fiecare din cele două instrumente poate funcționa independent sau simultan în cele patru moduri enumerate mai sus.

**Tabelul 10. Instrumentele sateliților SPOT 1/2/3, 4, 5 și caracteristicile acestora**

| Satelitul  | Instrumente         | Denumirea benzii | Lungimile de undă (μm) | Distanța de eșantionare | Nr. CCD pe linie |
|------------|---------------------|------------------|------------------------|-------------------------|------------------|
| SPOT 1/2/3 | HRV1<br>sau<br>HRV2 | XS1              | 0,50-0,59              | 20 m                    | 3000 3000        |
|            |                     | XS2              | 0,61-0,68              | 20 m                    | 3000             |
|            |                     | XS3              | 0,78-0,89              | 20 m                    |                  |
|            |                     | PAN              | 0,50-0,73              | 10 m                    | 6000             |
| SPOT4      | HRVIR1<br>Sau       | XS1              | 0,50-0,59              | 20 m                    | 3000 3000        |
|            |                     | XS               | 0,61-0,68              | 20 m                    | 3000 3000        |
|            |                     | XS3              | 0,78-0,89              | 20 m                    |                  |
|            |                     | SWIR             | 1,58-1,75              | 20 m                    |                  |
|            | HRVIR2              | M                | 0,61-0,68              | 10 m                    | 6000             |
| SPOT5      | HRG1<br>Sau         | XS1              | 0,495-0,605            | 10 m                    | 6000 6000        |
|            |                     | XS2              | 0,617-0,687 cm         | 10 m                    | 6000 3000        |
|            |                     | XS3              | 0,780-0,893 cm         | 10 m                    |                  |
|            |                     | SWIR             | 1.545-1.750 cm         | 20 m                    |                  |
|            | HRG2                | HMA HMB          | 0,475-0,710            | 5m                      | 12000            |
|            |                     |                  | 0,475-0,710            | 5 m                     | 12000            |
|            | HRS                 | HRS 1            | 0,49-0,69              | 10 mx5 m                | 12000            |
|            |                     | HRS2             | 0,49-0,69              | 10 mx 5 m               | 12000            |

#### 7.2.2.2. Achiziția în regim SUPERMODE

Datorită unui concept original dezvoltat sub brevet CNES, satelitul SPOT 5 poate furniza imagini pancromatice cu o rezoluție de 2,5 m. Această tehnică constă în producerea, pornind de la două înregistrări pancromatice achiziționate simultan, fiecare la 5m rezoluție, a unei imagini eșantionată la 2,5 m și care păstrează geometria celor două imagini inițiale.



**Fig. 70 Obținerea imaginilor SUPERMODE**

Achiziția imaginilor este realizată cu ajutorul unui detector specific construit din două barete electronice CCD (Charge Coupled Detector) decalate în planul focal, fiecare fiind formată din câte 12000 de fotodiode. Baretele permit înregistrarea independentă a câte unei

imagini pancromatice cu 5 m rezoluție decalate cu 3,5 pixeli pe direcția de deplasare a satelitului și cu 0,5 pixeli perpendicular pe orbită. În acest fel se obțin de două ori mai multe informații asupra aceluiași peisaj (de două ori mai mulți pixeli colectați). Pentru a obține produsul SUPERMODE sunt necesare trei etape de tratare a imaginii:

- suprapunerea și întreteserea;
- interpolarea necesară pentru deducerea informațiilor nevizibile;
- restaurarea (realizată prin reducerea zgomotului de fond indus de instrument și corectarea voalului din imagine).

#### *7.2.2.3. Instrumentul HRS (Haute Résolution Stéréoscopique-Înaltă Rezoluție Stereoscopică)*

Spre deosebire de modul de obținere a stereoscopiei la sateliții SPOT 1-4, noua concepție pe baza căreia a fost construit instrumentul HRS permite realizarea de cuple stereoscopice prin vize înainte/înapoi în timp cvasi-real pe durata unui singur pasaj. Practic, pentru obținerea stereoscopiei, nu mai este nevoie de înclinarea laterală a instrumentului.

De asemenea, trebuie menționate următoarele caracteristici tehnice:

- deschiderea câmpului de vizare de 120 km;
- rezoluția de 10 m în mod pancromatic;
- precizia altimetrică de sub 15m.

#### *7.2.2.4. Instrumentul VEGETATION 2*

Caracteristicile tehnice ale senzorului sunt identice cu cele ale predecesorului (instalat pe SPOT 4), dar au fost realizate și unele îmbunătățiri, în special în ceea ce privește stocarea și teletransmisia datelor la sol. Instrumentul are 4 benzi spectrale B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> și MIR (adaptate observării covorului vegetal) plus B<sub>0</sub> (utilizată pentru efectuarea corecțiilor atmosferice). Această configurație permite discriminarea variațiilor de reflectanță de ordinul 1 la 3x10<sup>-3</sup>, iar sistemul de etalonare permite sinergia interbandă și multitemporală de 3-5%.

### **7.2.3. Satelitul SPOT 6**

În septembrie 2012 a fost lansat satelitul SPOT 6 care marchează apariția unei noi tehnologii care permite achiziția imaginilor cu rezoluția de 1,5 m, în condițiile dimensiunii scenei de 60x60 km.

Sistemul optic are la bază Un instrument compus din două telescoape de tip Kosch cu deschiderea de 200 mm, iar detectorii sunt dispuși pe o baretă formată din 28000 de celule (PANCROMATIC).

Un ansamblu de 4 barete cu câte 7000 de celule asigură recepția în modul MULTISPECTRAL în patru benzi spectrale:

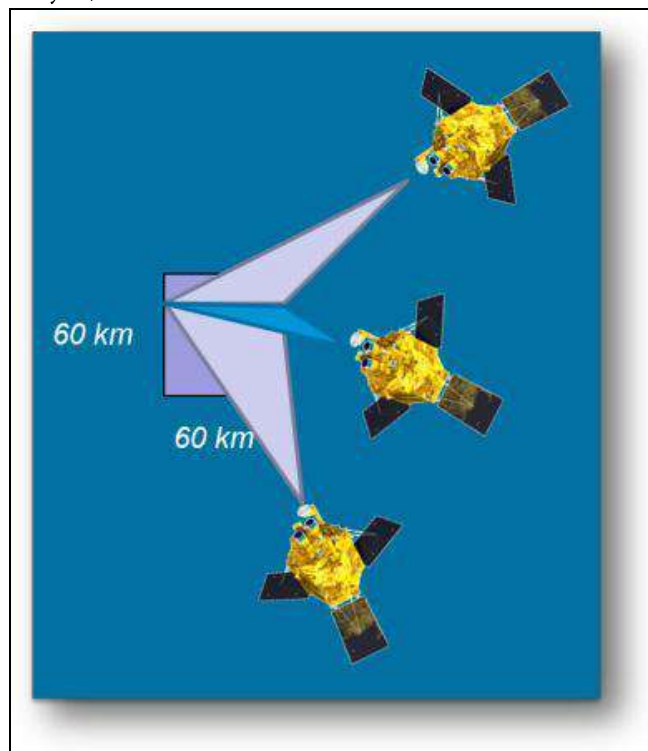
- Albastru (Blue): 0.450-0.520 μm
- Verde (Green): 0.530-0.590 μm

- Roșu (Red): 0.625-0.695  $\mu\text{m}$
- Infraroșu Apropiat (Near Infrared): 0.760-0.890  $\mu\text{m}$

Pot fi enumerate și alte caracteristici importante care evidențiază superioritatea noii tehnologii:

- Cele 5 benzi spectrale sunt achiziționate simultan
- Lățimea la sol a imaginii înregistrate : 60km la nadir
- Codarea imaginii :12 bits pe pixel
- Instrumentul de telemetrie cu o rată de transfer în banda X de 300 Mb/s
- Orbită heliosincronă
- Ora de pasaj : 10:00 AM ora locală
- Perioada de rotație : 98,79 minute
- Ciclul de revenire pe orbită : 26 zile
- Unghiul de înclinare:
  - Standard +/- 30° (*in roll*)
  - Extins: +/- 45° (*in roll*)
- Perioada de revizitare: 26 zile

Trebuie menționat că SPOT 6 permite achiziția stereoscopică în mod Single pass stereo și tri-stereo (vezi figura de mai jos)



**Fig. 71 Achiziția stereo SPOT 6**

De asemenea este posibilă selecționarea unui mod de achiziție adecvat unor aplicații specifice, după cum urmează:

- Bandă lungă,
- Țintă,
- Multi-culoar,
- Coridor.

Figurile următoare exemplifică aceste moduri de achiziție:

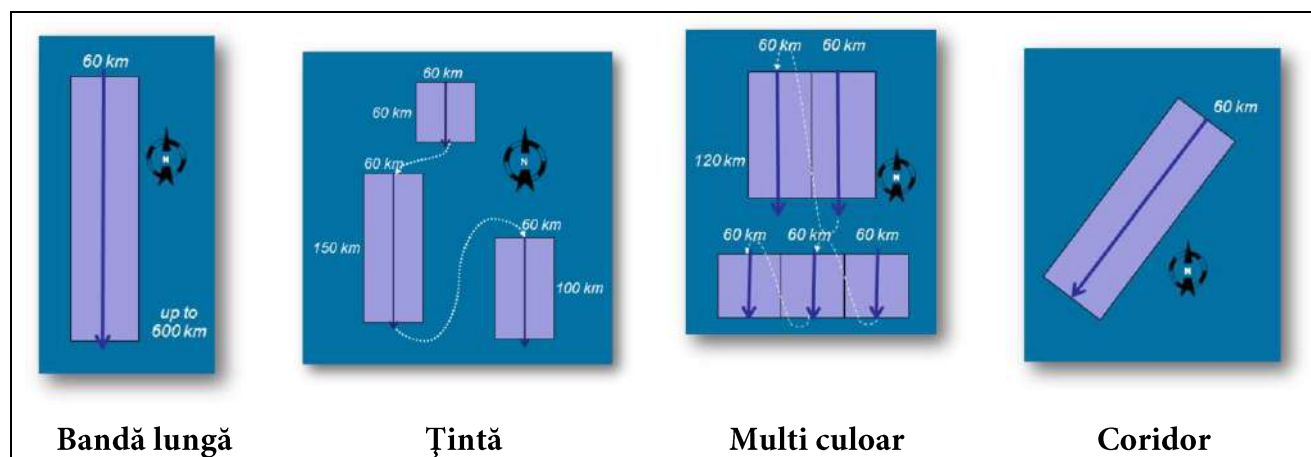


Fig. 72 Modurile de achiziție specifice sateliților SPOT și Pleiades

## TEMA NR. 8. PROGRAMELE NOAA ȘI METEOSAT

### 8.1. Programul NOAA

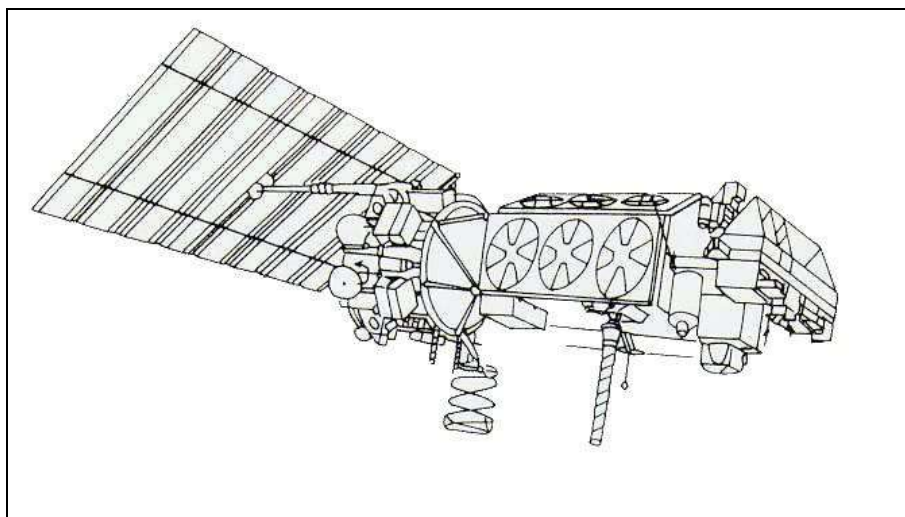
Satețiții meteorologici NOAA-AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) evoluează pe orbită la 833 km altitudine și acoperă un câmp larg (2700 km) cu o rezoluție geometrică mică (1,1 kilometri) compensată de o rezoluție radiometrică foarte ridicată.

Datorită faptului că rezoluția radiometrică este de 10 biți, fiecărui pixel i se poate atribui o plajă de valori de gri de la 0 la 1023 de unde rezultă calitatea discriminatorie a acestor date (tabelul de mai jos).

**Tabelul 11. Benzile spectrale ale senzorilor AVHRR**

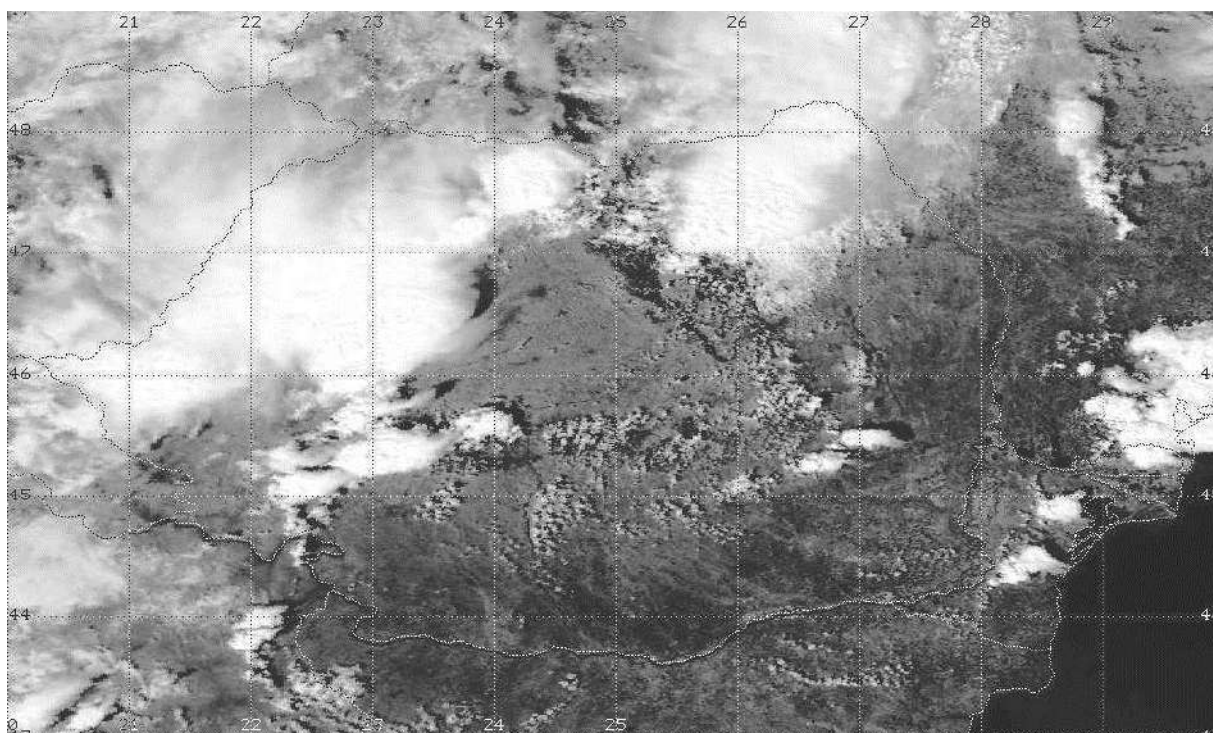
| <b>Banda</b> | <b>Lungimea de undă</b>   | <b>Zona spectrală</b>            | <b>Utilizare</b>                                                                                                                                                                              |
|--------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | 0.58-0.68 $\mu\text{m}$   | vizibil                          | banda corespunde reflectanței verzi a vegetației sănatoase ; foarte utilă pentru discriminarea speciilor vegetale.                                                                            |
| 2            | 0.725-1.10 $\mu\text{m}$  | infraroșu apropiat               | Banda corespunde răspunsurilor spectrale reprezentative pentru cantitatea de biomasă prezentă într-o scenă ; pot fi identificate culturile și sunt accentuate delimitările soluri/culturi/ape |
| 3            | 3.55-3.93 $\mu\text{m}$   | infraroșu termic                 | Folosită pentru discriminarea zonelor acoperite cu gheață și zăpadă și la identificarea incendiilor.                                                                                          |
| 4            | 10.50-11.50 $\mu\text{m}$ | infraroșu termic (NOAA 6, 8, 10) | Foarte utilă pentru studiul stresului vegetației naturale și al culturilor. O altă aplicație importantă se referă la identificarea activității geotermale.                                    |
|              | 10.30-11-30 $\mu\text{m}$ | infraroșu termic (NOAA 7,9,11)   |                                                                                                                                                                                               |
| 5            | 10.50-11.50 $\mu\text{m}$ | infraroșu termic (NOAA 6, 8, 10) | Foarte utilă pentru studiul stresului vegetației naturale și al culturilor. O altă aplicație importantă se referă la identificarea activității geotermale.                                    |
|              | 11.50-12.50 $\mu\text{m}$ | infraroșu termic (NOAA 7,9,11)   |                                                                                                                                                                                               |





**Fig. 73 Satelitul NOAA/AVHRR**

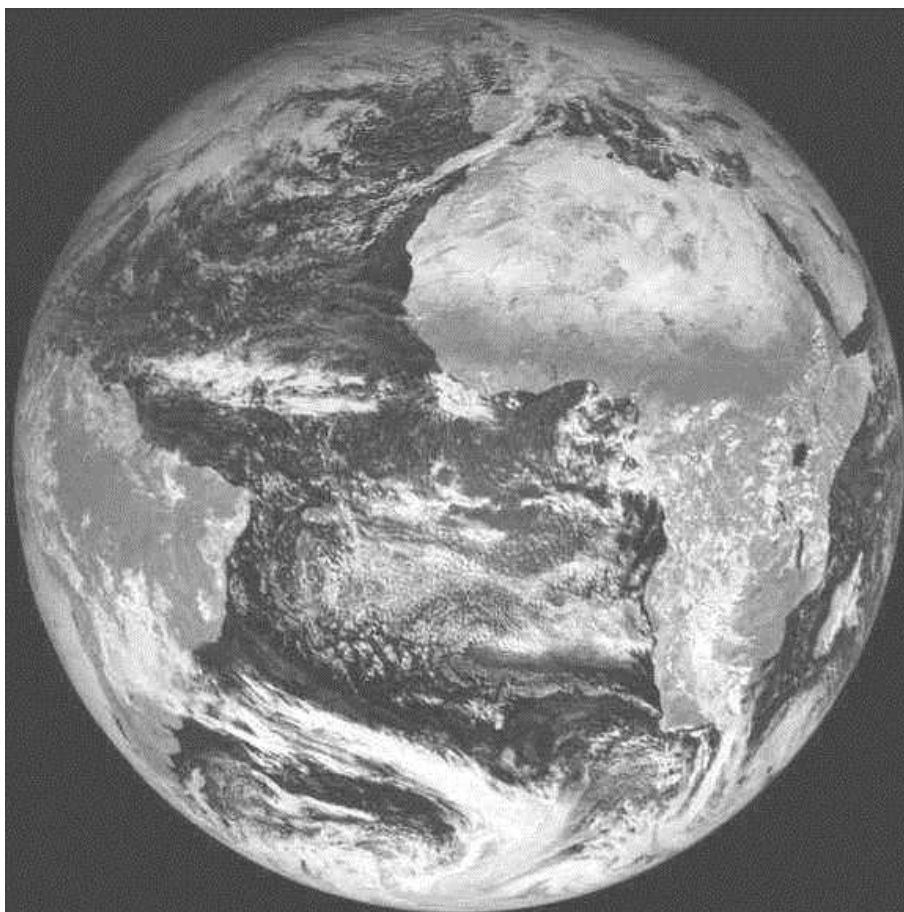
Scenele AVHRR pot conține o bandă o combinație de benzi sau totalitatea benzilor. Un alt mare avantaj oferit de imaginile provenite de la satelitul NOAA constă în posibilitatea acoperirii teritoriului unei țări de mărime medie de doua ori pe zi, întreg globul fiind acoperit în 14,5 zile.



**Fig. 74 Vizualizare rapidă a canalului vizibil al înregistrării NOAA din data de 13 august 1998**

## **8.2. Programul METEOSAT**

Încă din anii '70 Agenția Spațială Europeană (ESA) a dezvoltat în cadrul mondial de supraveghere meteorologică sateliții de observație geostaționari METEOSAT. În prezent programul este gestionat de organizația europeană de observații meteorologice EUMETSAT. Acest organism a fost creat tocmai datorită succesului activităților dezvoltate de ESA în acest domeniu.



**Fig. 75 Prima imagine transmisă de satelitul METEOSAT**



## TEMA NR. 9. SATELIȚI RADAR

### 9.1. Programul european ERS

În 1991 Agenția Spațială Europeană a plasat pe orbită cu ajutorul unei rachete Ariane satelitul radar ERS-1 care evoluează începând din 1995 în tandem cu satelitul ERS-2. Aplicațiile principale ale programului ERS sunt legate de oceanografie (studiul vânturilor, curenților și calotei glaciare), dar s-a dovedit că utilizarea imaginilor are o aplicabilitate largă și în celelalte discipline ale cartografierii topografice și geografice. Sateliții ERS au o orbită heliosincronă înclinată la  $98,5^\circ$ , cvasi-polară, cvasi circulară și evoluează la o altitudine medie de 785 kilometri. Satelitul ERS 1 a fost trecut în rezervă în primăvara anului 2000 iar ERS 2 și-a încetat activitatea de achiziții de imagini în anul 2011.

Imaginile permit evidențierea foarte clară a structurilor geomorfologice prin mijlocirea analizei vizuale a texturilor și a informației fals color (în cazul unor procesări multitemporale), rezultatele obținute fiind foarte utile dar și foarte spectaculoase. De asemenea, este posibilă extragerea de date asupra umidității solului, identificabile chiar și pe documente analogice multitemporale fals-color, prin exploatarea mari variabilități spațiale a acestui fenomen, dar și a marii stabilități geometrice a imaginilor radar.



Fig. 76 Imagine ERS-SAR din 22 iunie 1998 © ESA

Radarul cu deschidere sintetică (AMI Image Mode-SAR), senzorul care lucrează în mod imagine, achiziționează date cu rezoluție mare (30 m), într-o zonă lată de 100 km și lungă de 250 km către partea dreaptă a orbitei satelitului. Printre instrumentele sateliților din această

serie, ERS-SAR este cel mai adaptat studiului resurselor terestre, complementaritatea cu datele optice provenite de la sateliții SPOT și Landsat permițând realizarea unor aplicații foarte detaliate. Imaginile SAR pot fi înregistrate atât în orbită ascendentă cât și descendentă. Aceasta implică schimbarea direcției de iluminare ceea ce implică modificarea răspunsului pentru scena respectivă, dar și obținerea de informații adiționale.

Celelalte instrumente (AMI Wind Mode, AMI Wave mode, Radar Altimeter-RA-, ATSR-M) sunt destinate în special aplicațiilor oceanografice. Sateliții sunt prevăzuți și cu instrumente de poziționare foarte precisă : PRARE, destinat determinării foarte precise a parametrilor orbitei, inoperant pe ERS-1 și Retroreflectorul Laser care permite obținerea de date suplimentare asupra orbitei satelitului. În regiuni colinare sau de munte distorsiunile geometrice ale imaginii limitează posibilitățile de interpretare a imaginilor radar. Totuși, prin aplicarea corecțiilor geometrice bazate pe Modelul Digital al Terenului și a fazelor ascendente, este posibilă obținerea acoperirii complete a regiunii cercetate.

Interferometria radar se bazează pe combinarea a două sau mai multe seturi complexe de înregistrări individuale de pe poziții orbitale infim diferite (de ordinul sutelor de metri). Diferențele de fază sunt utilizate pentru calculul altitudinii fiecărui pixel. În cazul unui set coerent de date pot fi determinate variații spațiale ale unui obiect la scara centimetrelor, din acest motiv datele ERS-SAR fiind utilizate pentru obținerea cu mare precizie a Modelului Digital al Terenului derivat, chiar și atunci când zona cercetată este complet acoperită cu nori. Aceste caracteristici permit monitorizarea fenomenelor naturale din categoria cutremurelor și a erupțiilor vulcanilor, fenomene însoțite în mod obișnuit de deplasări crustale de mai mică sau mai mare anvergură.

Datorită frecvenței de pasaj, radiometrul de baleiaj de la bordul satelitului ERS-2 (ATSR-Along Track Scanning Radiometer) este posibil să fie obținute imagini de sinteză, de obicei decadales, referitoare la temperaturile de suprafață ale apei mării și la studiul covorului vegetal (fig.15). Fiind permisă urmărirea curenților marini, se pot observa cu regularitate zone de interes particular, de unde și interesul aplicativ-științific în domeniul climatologiei, sau economic, în domeniul pescuitului.

Aceași imagine permite reprezentarea prin metoda de etalonare SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) a cuverturii vegetale a planetei. Indexul SAVI, determinat experimental, permite evaluarea vegetației eliminând influențele radiometrice negative ale solului, paleta de culori fiind etalată de la verde (vegetație densă) până la maro deschis (zone aride). Utilizarea indexului SAVI permite observarea și monitorizarea covorului vegetal sezonier, anual și multianual.

## **9.2. Programul ENVISAT**

În anul 1988 Agenția Spațială Europeană a prezentat statelor sale membre o strategie globală pentru observarea Terrei pe baza căreia, în urma a două consilii interministeriale s-a stabilit un program de dezvoltare a satelitului ENVISAT, dar și începerea proiectului pregător pentru misiunea METOP. Perspectiva dezvoltării observării planetei de pe orbite polare a stimulat și accelerat realizarea unor noi tipuri de tehnici spațiale și de aplicații extrem de complexe care permit analizarea zonelor polare cât și a oceanelor și atmosferei.

Pentru proiectul ENVISAT s-a alocat o sumă de circa 2 miliarde de Euro pentru o perioadă de 15 ani. Aceste sume au fost repartizate cu mare atenție către două consorții:

- unul (format de 50 de societăți tehnologice) dirijat de grupul ASTRIUM pentru a construi satelitul;
- cel de-al doilea (format din 20 de societăți) coordonat de ALCATEL ESPACE care a realizat segmentul de la sol, foarte important datorită volumului imens de informații care trebuie transmise la sol pe toată durata de viață a satelitului.

Pentru finanțarea și realizarea satelitului participă următoarele țări: Austria, Belgia, Canada, Danemarca, Elveția, Finlanda, Franța, Germania, Italia, Marea Britanie, Norvegia, Olanda, și Suedia.

ENVISAT evoluează pe o orbită heliosincronă (ora solară de pasaj 10:00), la o altitudine medie de 800 de km. Orbita a fost calculată pentru a permite un ciclu de repetitivitate de 35 de zile, dar și diverse sub-cicluri de acoperire specifice fiecărui instrument în parte, prin elaborarea de grile ale traiectoriei orbitei cu un decalaj longitudinal fix de la un ciclu la altul.

### **9.2.1. Instrumentele satelitului ENVISAT**

Satelitul ENVISAT a cântărit 8,2 tone la lansare și are o anvergură de 10mX4mX4m atunci când antenele radarului cu deschidere sintetică și panourile solare sunt pliate. Odată desfășurate aceste elemente, anvergura sistemului devine impresionantă: 25mX7mX10m. Platforma este dotată cu 10 instrumente care operează într-o plajă variată de lungimi de undă de la 0,2μm la 10cm.

#### **9.2.1.1. Radarul cu deschidere sintetică (ASAR)**

Acest instrument este succesorul radarelor cu deschidere sintetică ale sateliților ERS-1 și ERS-2, ceea ce permite coerența unui program de analiză multitemporală a pe termen lung. Antenele sale active, construite din elemente distribuite, constituie un salt tehnologic important materializat în posibilitatea de a opera în regimuri de lucru diferite:

- imagine (deschidere de 100 km la o rezoluție de cca.30m);
- câmp larg (deschidere de 400 km la o rezoluție de cca.150m);
- polarizare reversibilă (verticală sau orizontală);
- supraveghere globală;
- valuri.

Instrumentul permite utilizarea tehnicilor de interferometrie prin care se generează modelul de elevație a terenului sau pot fi determinate mișcările crustale terestre.

#### 9.2.1.2. Radiometrul cu baleiaj longitudinal (AATSR)

Acest instrument, succesor al senzorilor ATSR instalați pe platformele ERS-1 și ERS-2, baleiază suprafața oceanelor și a terenurilor umede joase sub diferite lungimi de undă în vizibil și infraroșu. Este posibilă obținerea de imagini sub două incidențe diferite în infraroșu mediu și termic ( $1,6\ \mu\text{m}$ ,  $3,7\ \mu\text{m}$ ,  $10,7\ \mu\text{m}$  și  $12\ \mu\text{m}$ ) rezultând măsurători foarte precise a suprafeței mărilor și oceanelor ( $\pm 0,3^\circ\text{C}$ ). Aceste determinări precise a schimbărilor foarte mici a temperaturii suprafeței mărilor semnaleză modificări semnificative ale ratei de transfer de căldură ocean/atmosferă. Anomaliile sesizate în zone specifice sunt în cele mai frecvente cazuri asociate cu importante perturbații atmosferice.

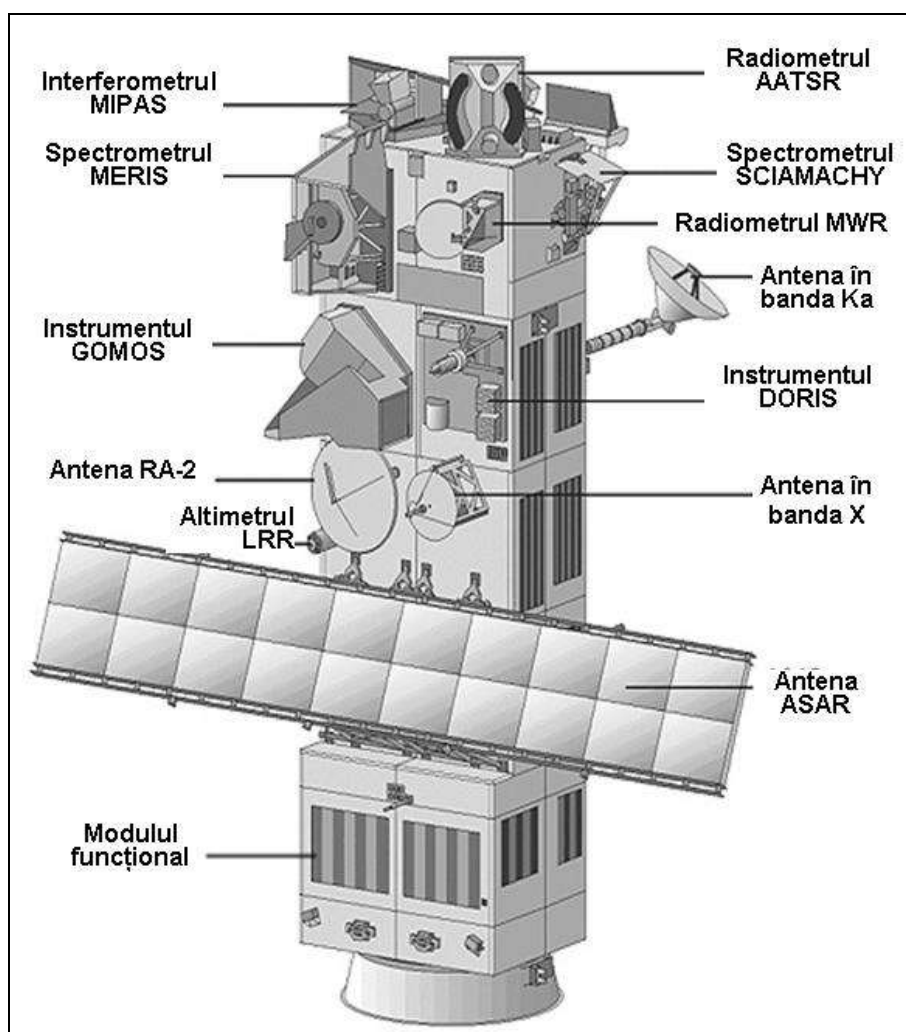


Fig. 77 Instrumentele satelitului ENVISAT

#### 9.2.1.3 Spectrometrul de medie rezoluție (MERIS)

Instrumentul MERIS este un spectrometru cu 50 de benzi care pot fi selectate prin programare de la sol. Acest instrument acționează în vizibil și infraroșu și acoperă datorită deschiderii câmpului de vizare de  $68,5^\circ$  o plajă de 1150 km.

Pe lângă instrumentele enumerate mai sus satelitul ENVISAT dispune și de alte instrumente după cum urmează:

- Altimetrul radar (RA-2),
- Radiometrul cu microunde (MWR),
- Instrumentul de localizare DORIS și retroreflectorul laser,
- Spectrometrul pentru supravegherea stratului de ozon (GOMOS),
- Interferometrul pentru sondajul pasiv al atmosferei (MIPAS)

Din păcate, la începutul anului 2012 satelitul ENVISAT a ieșit din uz după o activitate de importanță istorică în folosul comunității științifice.

## TEMA NR. 10. ELEMENTE SPECIFICE ELABORĂRII UNUI STUDIU BAZAT PE DATE DE TELEDETECȚIE

### 10.1. Colectarea materialelor de arhivă (hărți, monografii, imagini), vizite la teren

Pentru început se are în vedere colectarea următoarelor documente:

- Materialul cartografic de bază (planuri și hărți topografice la diverse scări, hărți tematice relevante pentru studiul în cauză);
- Date statistice: hidrologice, climatice, demografice, economice, administrative, funciare agricole și neagricole.

Toate aceste documente vor fi transformate în format digital, datele imagine fiind scanate și referențiate. În urma finalizării acestei activități de informare, prelucrare și analiză a informației se poate estima efortul necesar pentru elaborarea studiului.

Fiind vorba despre un studiu fundamentat pe date imagine se va analiza fondul de imagini de arhivă pentru care se deține dreptul de utilizare (copyright). În ceea ce privește imaginile noi, vor fi analizate cataloagele de date on-line pentru identificarea scenelor recent înregistrate, iar în absența acestora se vor comanda imagini noi apelându-se la serviciile de programare normală sau prioritară.

### 10.2. Descrierea fizico-geografică a suprafeței studiate

Așa cum s-a arătat în această lucrare, pentru cunoașterea corectă a realităților peisajului studiat, este necesară descrierea **rețelei hidrografice** cu ajutorul căreia pot fi evidențiate elemente specifice morfologiei terenului, litologiei, structurii geologice și permeabilității materialelor care constituie suprafața de studiu. Vor fi analizate apoi **formele de relief** și elementele care descriu **acoperirea și cuvertura terenului**.

Atât în faza descrierii fizico-geografice, cât și în faza propriu-zisă, de studiu, se vor urmări evidențierea sistemului natural terestru, identificarea infrastructurii și structura organizării teritoriale (poziția în ansamblul administrativ-teritorial regional) (a spațiului geografic). Practic, în această fază vor rezulta elementele descriptive definitorii care subliniază trăsăturile morfologice de ansamblu, hidrologia, elementele pedo-geografice și vegetația.

### 10.3. Analiza imaginii (imaginilor)

În etapa de analiză a imaginilor se va urmări repartiția spațio-temporală a unor fenomene sau aspecte cantitative și calitative care sunt relevante pentru studiul elaborat. Pentru aceasta, în mod obișnuit, tehnica fotointerpretării obligă operatorul să țină seama de opt elemente care caracterizează peisajul:

- Forma obiectelor și fenomenelor,
- Mărimea obiectului,



- Tonalitatea imaginii,
- Textura imaginii,
- Umbrirea,
- Poziționarea elementelor de infrastructură,
- Asociativitatea obiectelor din punct de vedere al conectivității funcționale,
- Structuralitatea obiectelor (utilizarea la maximum a spațiului)

De fapt, în practica fazei de analiză prin fotointerpretare, se caută să se identifice cea mai probabilă soluție care poate caracteriza un obiect sau fenomen în vederea reconstituirii formei, poziției și caracteristicilor acestuia/acestora.

Reamintim faptul că, în natură, există o corelare a elementelor adiacente sau vecine (de exemplu asociații vegetale pe malurile cursurilor de apă, terenuri agricole în vecinătatea localităților, etc.).

Este evident faptul că în această etapă, în afară de observarea/interpretarea vizuală directă, absolut obligatorie) se va face apel, cu preponderență, la metodele de clasificare descrise în capitolele anterioare.

#### **10.4. Validarea și confruntarea la teren**

Aceasta este o etapă neglijată în cele mai multe cazuri fiind o operațiune la care se renunță mai ales din motive care sunt legate de insuficiența resurselor bugetare sau din lipsa de timp fizic necesar deplasărilor pe teren. Trebuie remarcat faptul că expresia cu tentă absolută „adevăr teren” ar trebui înlocuită cu „realitate teren” pentru că prin această confruntare se controlează unele ipoteze și se precizează conținutul tematic al studiului.

#### **10.5. Elaborarea documentelor grafice**

Atât materialul grafic (scheme, grafice, schițe, desene) cât și tabelele trebuie să aibă un titlu scurt care să reflecte conținutul și să fie însoțite de explicații care să pună în valoare conținutul și semnificația lor, într-o strânsă legătură cu ideile cuprinse în lucrare.

Ținând cont de faptul că produsul cartografic se adresează unui beneficiar sau unui grup țintă, documentația trebuie să evidențieze și să transmită informația tematică într-un mod lizibil, inteligibil.

Se va acorda mare atenție conținutului de fond al hărții și datelor care trebuie figurate. Reprezentarea trebuie să respecte o corectă relaționare spațială (geometrică) între obiectele/fenomenele figurate, de fapt să oglindească fidel o poziționare reciprocă logică între elementele de peisaj, conformă cu realitatea.

Se vor respecta raporturile de proporționalitate specifice și se va acorda mare atenție poziționării semnelor convenționale pentru a asigura corespondența dintre date și proprietățile variabilelor specifice care caracterizează tematica hărții. Astfel va fi asigurată o prezentare lizibilă a conținutului cartografic al studiului.

Nu trebuie uitate elementele obligatorii privind rețeaua (rețelele) cartografice, scara; proiecția cartografică și sistemul de referință care au fost utilizate la întocmirea hărții.

## 10.6. Elaborarea raportului text (memoriul tehnic)

Atunci când se întocmește material textual descriptiv, este esențial ca acesta să fie bine scris pentru a fi citit cu ușurință evitându-se introducerea de informații redundante și cu caracter repetitiv care limitează înțelegerea conținutului.

Logica prezentării echilibrează conținutul tematic mai ales când este folosit un mod de exprimare și un fond de termeni potrivit. Textul prezentat trebuie să aibă un caracter analitic, iar informația prezentată va permite formularea unor concluzii și recomandări (atunci când este cazul). De fapt, raportul trebuie să fie finalizat de concluzii obținute ca o consecință logică a studiului.

Raportul va include:

- **pagina de titlu** (titlu, data întocmirii, numele autorului/autorilor, instituția),
- **rezumatul** (problema/contextul/scopul, concluzii),
- **cuprinsul** (structurat pe capitole și indexat corespunzător),
- **lista de figuri, lista de tabele,**
- **lista planșelor), introducerea,**
- **conținutul** (ideile principale, descrierea mijloacelor tehnice utilizate, descrierea operațiunilor/cercetărilor efectuate, metodele și procedurile utilizate, datele și informațiile inițiale, intermediare și finale, prezentarea rezultatelor studiului),
- **concluziile** (formulate ca sinteză a studiilor și cercetărilor) și/sau
- **recomandările** (de obicei rezultat logic al concluziilor),
- **bibliografia** (listată ordonat în ordine alfabetică a autorilor) și
- **anexele.**

## 10.7. Recapitularea unor noțiuni de bază în teledetecție

Pentru a fixa cunoștințele și pentru a elimina confuziile referitoare la principiile de bază ale teledetecției vom fi repetate următoarele noțiuni:

### 1. Teledetecția este știința și arta de a achiziționa informație:

- *spectrală,*
- *spațială,*
- *temporală*

despre obiectele materiale și fenomenele de pe suprafața terestră, fără a intra în contact fizic cu acestea. Pentru aceasta se utilizează proprietățile de transfer al informațiilor prin spațiu.

2. În teledetecție transferul informației este realizat prin intermediul radiației electromagnetice.

3. **Radiația electromagnetică este o formă de energie care își manifestă prezența prin efecte observabile pe care le produce la impactul cu materia. Se consideră faptul că radiația electromagnetică acoperă spectrul de la  $10^{-10}$  mm, până la radiațiile cosmice ( $10^{10}$  mm).**

4. **În funcție de tipul de energie utilizat se disting doua mari categorii de senzori:**

- *Pasivi (care detectează radiația reflectată sau emisă de către surse naturale;*
- *Activi (care detectează răspunsurile reflectate de obiecte care sunt iradiate de la surse de energie artificiale cum ar fi radarul).*

5. **Ținând cont de lungimea de undă utilizată teledetecția este clasificată astfel:**

- *Teledetecție pasivă în vizibil și infraroșu;*
- *Teledetecția în infraroșu termal;*
- *Teledetecția în microunde.*

6. **Folosirea imaginilor provenite de la sateliții de observare a Pământului ține cont de caracteristicile proprii fiecărui satelit utilizat, mai precis de cei trei parametri fundamentali:**

- rezoluția spațială;
- rezoluția spectrală;
- repetitivitatea spațio-temporală.

## TEMA NR. 11 DOMENII DE APLICARE A TELEDETECTIEI

Dintre toate aplicațiile teledeteției mai cunoscute sunt cele care se referă la **studiul resurselor naturale ale Pământului**. Trebuie însă menționat faptul că teledeteția are aplicabilitate și în multe alte domenii ale cercetării, un loc important fiind ocupat de studiul poluării și al poluanților.

Fără a considera următoarea enumerare ca fiind exhaustivă, se poate spune că teledeteția se ocupă cu:

- studiul comportamentului suprafeței terestre în interacțiune cu radiațiile electromagnetice;
- studiul mijloacelor tehnice care permit recepționarea acestor radiații;
- studiul metodelor de analiză a datelor recepționate, înainte de a fi extrase informațiile care constituie, de fapt, produsul final și scopul declarat.

Astfel, instrumentele optice furnizează imagini similare unei observări directe din spațiu. Rezoluția ridicată a acestor instrumente și utilizarea benzilor multispectrale permit achiziționarea imaginilor foarte bogate în informații care pot fi interpretate în vederea detaliilor specifice ale suprafeței Terrei. De asemenea, în mod complementar instrumentelor optice (dependente de starea atmosferică și de iluminarea directă a soarelui), instrumentele radar pot funcționa atât ziua cât și noaptea indiferent de acoperirea cu nori. Observarea în domeniul optic, al microundelor și al hiperfrecvențelor este un mijloc modern de investigare care poate fi adaptat necesităților fiecărei aplicații în parte. De exemplu, combinate cu imagini optice de arhivă, datele radar constituie o alternativă viabilă performantă în cazuri de urgență generate de calamități naturale.

Utilizarea senzorilor instalați la bordul aeronavelor sau a sateliților constituie, în prezent, instrumentul pentru colectarea informațiilor necesare monitorizării, controlului și administrării mediului. Astfel, teledeteția oferă posibilitatea studierii de către specialiști a problemelor majore privind conservarea naturii. Pot fi amintite tematici de studiu de mare importanță pentru prezentul și viitorul omenirii:

- defrișările masive;
- seceta;
- monitorizarea culturilor agricole;
- explorarea și exploatarea resurselor minerale;
- efectele dezastrelor naturale (inundații, cutremure, alunecări de teren, etc.) sau antropice.

De asemenea este important să fie amintite și alte aplicații, astăzi devenite operaționale, ale teledeteției:

- studiul ratei de sedimentare în estuare și areale deltaice;
  - managementul și reabilitarea fondului forestier;
  - reecologizarea (regenerarea solurilor) după încheierea exploatărilor miniere
- (aceste proceduri au o durată mare de peste 10 ani);
- monitorizarea temperaturii suprafeței mărilor și oceanelor pentru a identifica cele mai bune locuri de pescuit din punctul de vedere al producției și cu impact redus asupra protecției speciilor;
  - studii privind salinitatea apei;
  - măsurarea cantității de clorofilă;
  - monitorizarea calității apei din punct de vedere al turbidității și al conținutului de alge în zonele costiere;
  - modul de utilizarea a terenurilor.

Subliniem faptul că accesul la tehnologie nu este suficient pentru a operaționaliza aceste aplicații. Modul în care specialistul înțelege relația dintre imagine satelitară și realitatea înconjurătoare depinde de două elemente aparent dissociate: **pregătirea sa de bază**, pe de o parte, iar pe de altă parte **echipamentele și tehnicile de prelucrare** (operaționale sau experimentale) de care dispune acesta. Mai trebuie ținut seama și de faptul că în teledetecție este obligatorie crearea de echipe complexe formate din specialiști capabili să extragă și să analizeze în mod coerent, integrat, cu viziune multidisciplinară, esența informației tematice. De asemenea, este necesar ca, ținând seama de realitatea actuală fiecare guvern responsabil să accepte faptul că trebuie să genereze o investiție publică majoră în domeniul observării Pământului care să permită gestionarea resurselor naturale.

## BIBLIOGRAFIE

1. Campbell, J.B. (1987) **Introduction to Remote Sensing**. The Guilford Press, New York.
2. Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. (1994) **Remote Sensing and Image Interpretation**. John Wiley and Sons Inc., New York.
3. Jensen, John R. (1986) **Introductory Digital Image Processing**. Prentice-Hall, New Jersey.
4. Russ, John C. (1995) **The Image Processing Handbook**. 2nd edition. CRC Press, Boca Raton.
5. Dougherty, Edward R. and Charles R. Giardina (1987) **Matrix Structured Image Processing**. Prentice-Hall, New Jersey.
6. **Computer Eye: Handbook of Image Processing**. Spatial Data Systems Inc., California.
- Jain, Anil K. (1989) **Fundamentals of Digital Image Processing**. Prentice-Hall, New Jersey.
7. Wahl, Freidrich M. (1987) **Digital Image Signal Processing**. Artech House, Boston. Yu, Francis T.S. and Suganda Jutamulia (1992) **Optical Signal Processing, Computing, and Neural Networks**. John Wiley & Sons, New York.
8. Canada Centre for Remote Sensing/Natural Resources Canada (1997). **GlobeSAR2 Radar Image Processing and Information Extraction Workbook Version 1.2**. Ottawa, Ontario, Canada.
9. Barton, D. & S. Leonov (eds.) (1997) **Radar technology encyclopedia**, 511 p., Artec House, Norwood, MA, USA, ISBN 0-89006-893-3
10. Oliver, C. & S. Quegan (1998) **Understanding synthetic aperture radar images**, 479 p., Artech House, Norwood, MA, USA, ISBN 089006850X.
11. Werle D. (1988 and 1992) **Radar Remote Sensing - A Training Manual**, 193p, 75 35mm slides, Dendron Resource Surveys Ltd, Ottawa, Ontario, Canada, ISBN 0-9693733-0-9
12. Campbell, J. B. (1996) *Introduction to Remote Sensing* (2nd Ed), London:Taylor and Francis.
13. R. Harris, 1987. "Satellite Remote Sensing, An Introduction", Routledge & Kegan Paul.
14. Jensen, J. R. (2000) *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*, 2000, Prentice Hall, New Jersey. (Excellent on RS but no image processing).
15. Jensen, J. R. (2005, 3rd ed.) *Introductory Digital Image Processing*, Prentice Hall, New Jersey. (Companion to above) BUT mostly available online at <http://www.cla.sc.edu/geog/rslab/751/index.html>
16. Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. and Chipman, J. W. (2004, 5th ed.) *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley, New York.
17. Mather, P. M. (1999) *Computer Processing of Remotely-sensed Images*, 2nd Edition. John Wiley and Sons, Chichester.
18. W.G. Rees, 1996. "Physical Principles of Remote Sensing", Cambridge Univ. Press

