

## Sistem inteligent de monitorizare a riscului seismic in zona seismogena Vrancea

### REZUMAT:

SCOPUL FUNDAMENTAL AL PROIECTULUI ÎL REPREZINTĂ APLICAREA ȘTIINȚEI COMPLEXITĂȚII ÎN MONITORIZAREA INTELIGENTĂ A UNEI ZONE GEODINAMIC ACTIVE. SE URMAREȘTE REALIZAREA UNUI SISTEM CAPABIL SA PERMITA EVIDENȚIEREA **EVOLUTIEI** UNEI ZONE SEISMOGENE DIN PERSPECTIVA PROPRIETATILOR UNUI SISTEM COMPLEX, CONTRIBUIND ASTFEL LA ÎMBUNĂTĂȚIREA CARACTERIZĂRII RISCULUI SEISMIC.

**PUNCTUL CENTRAL** AL PROIECTULUI ESTE CONSTITUIT DE ALATURAREA DINTRE DOUA ELEMENTE STRUCTURALE UTILIZATE ÎN ALCATUIREA SISTEMULUI :

- **O REȚEA NEURALĂ** CAPABILĂ SĂ DISCRIMINEZE, SĂ CLASIFICE ȘI SĂ ESTIMEZE EVOLUTIV UN FLUX DE DATE ÎN BAZA UNUI ANSAMBLU DE MODELE (MULTIMODEL), RESPECTIV
- **UN ANSAMBLU DE SENZORI SPECIFICI** MONITORIZĂRII UNEI ZONE GEODINAMIC ACTIVE ȘI BIOSENZORI, SPECIAL AMPLASAȚI ÎN ZONA SEISMICĂ, ÎN ACORD CU CERINȚELE TEORIEI SISTEMELOR COMPLEXE. PRIN ACEASTA SE URMĂREȘTE CONSTRUIREA UNUI SISTEM CU INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ, CAPABIL SĂ SURPRINDĂ EVOLUȚIA UNEI ZONE GEODINAMIC ACTIVE, RESPECTIV SĂ PERMITĂ O EVALUARE OBIECTIVĂ ȘI ÎN TIMP REAL A "STĂRII DE SANĂTATE" A UNUI ECO-SOCIO-SISTEM SITUAT ÎNTR-O ZONĂ SEISMICĂ ACTIVĂ.

**NOUȚATEA STUDIULUI CONSTĂ ÎN FOLOSIREA UNOR TEORII NOI (TEORIA HAOSULUI DETERMINIST, TEORIA CATASTROFELOR, TEORIA BIFURCAȚIILOR, GEOMETRIA FRACTALĂ), A UNOR MODELĂRI NOI (AUTOMATE CELULARE, ALGORITMI GENETICI, AGENȚI INTELIGENȚI) ATĂT PENTRU STRUCTURAREA CONCEPTELOR: MULTIMODEL, FILTRU INFORMACIONAL, MONITORIZARE INTELIGENTĂ CAT ȘI PENTRU ADAPTAREA CONTEXTULUI EXPERIMENTAL (NATURA SENZORILOR, AMPLASAREA ACESTORA, NATURA PREPROCESĂRII) LA CERINȚELE ÎMPUSE MONITORIZĂRII A UNEI ZONE SEISMIC ACTIVE DIN PERSPECTIVELE ȘTIINȚEI COMPLEXITĂȚII.**

### 1. Importanța și relevanța conținutului științific

**Evaluarea riscului seismic** al unei zone este un obiectiv major în cercetarea geofizică modernă. Studiile legate de înțelegerea mecanismelor de acumulare a tensiunii în zone seismice active și implicit responsabile de producerea cutremurelor de pământ, au fost revigorate de apariția unui ansamblu de teorii și modele cunoscute sub denumirea de "știința Complexității". Astfel, după descoperirea geometriei fractale,

a teoriei haosului și a teoriei catastrofelor, evenimentele seismice au fost reinterpretate ca exemple tipice ale dinamicii sistemelor neliniare. Procesul de auto-organizare a devenit cel mai uzitat și important model privitor la producerea cutremurelor de Pamant [1,2]. Studiile în baze de date ce conțin toate evenimentele seismice cu magnitudini mai mari de 2 au evidențiat alternanțe între perioade cu predictibilitate acceptabilă și perioade cu evenimente distribuite aleator, fapt ce a condus la ideea că "însăși gradul de predictibilitate al evenimentelor seismice se schimbă în timp" (J.D.Goltz,1997). Din această perspectivă, cutremurul de pamant a devenit o expresie a "**geocomplexității**"(Rundle s.a. 2000), fapt ce a determinat orientarea cercetării științifice către înțelegerea fenomenelor complexe și valorificarea științifică în domeniul geostiintelor în general și al seismologiei în special a principalelor concepte, modele, teorii și tehnici puse la dispoziție de noua paradigmă a Complexității

Știința Complexității s-a structurat prin agregarea rezultatelor unor studii inițializate ca strapungeri conceptuale și metodologice în anumite direcții de modelare / teoretizare și care și-au dobândit identitate și utilitate: *Geometria Fractală, Teoria Generală a Sistemelor Disipative, Teoria Haosului, Teoria Catastrofelor, Sinergetica, Teoria Automatelor Celulare, Algoritmi Genetici, Agenți Inteligenți, Viata Artificială*. Prin apariția în 1984 a institutului de la Santa Fe, fondat de un grup de fizicieni printre care: George Cowan, David Pines, Stirling Colgate, Murray Gell-Mann, Nick Metropolis, se semnează practic anul de naștere a noii științe: *Complexity Science*, știința ce schimbă esențial modul de abordare a Realității, făcând tranziția de la o abordare liniară, reductionistă, modelabilă analitic la o abordare holistică, neliniară, modelabilă prin automate celulare, rețele neurale, agenți inteligenți. Se prezintă în continuare câteva din teoriile și modelele ce au impulsivat agregarea acestui concept, de sistem COMPLEX, și care au relevanță în definirea obiectivelor acestui proiect.

Astfel, în 1976, Ilya Prigogine, laureat al premiului Nobel, elaborează **Teoria sistemelor disipative**, devenind astfel unul din pionierii studiilor de **auto-organizare** [3]. În esență, această teorie afirmă că ordinea se naște spontan în sisteme ce evoluează departe de echilibrul termodinamic. Această ordine se formează dependent de fluxurile de energie ce străbat domeniul în care se naște și evoluează sistemul, ce dobândește astfel o seamă de proprietăți fizice și "comportamentale" specifice. Se face astfel o nouă legătură, mai subtilă, între **energie** și **structura**, dincolo de legătura dintre **energie** și **materie**. Astfel, aspectele precum structurile arborescente, autosimilare, fractale, observate în natură [4] sunt, în sine, efecte evidențiable ale interacțiunii dinamice dintre energie și materie (structurări generate de gradient). Teoria constructivă a lui Bejan [5] formalizează relația dintre structura și fluxul de energie ce menține departe de echilibrul termodinamic un sistem disipativ, definind o seamă de legi de alometrie [6], cu grad mare de universalitate [7]. Atunci când debitul de energie ce străbate sistemul se menține în anumite limite, structura sistemului se conservă. Fluctuații peste și sub această limită declanșează mecanisme specifice de restructurare, restructurare ce se poate realiza lent sau brusc (tranziții de fază, bifurcații). Studiul evenimentelor geodinamice în general și al celor seismice în mod special sunt analizate, începând cu 1990, din această perspectivă, ce implică

înțelegerea dinamicii interacțiunilor dintre blocurile și sub-blocurile ce formează crusta în zonele geodinamice active, respectiv însăși geneza și stabilitatea în timp a acestei structuri celulare, capabile să disipe fluxuri de energie dintr-o zonă concentrată (focar) către un volum dat. **Proiectul își propune** să exploreze modul în care abordarea unei zone geodinamice active, din perspectiva unui sistem complex care evoluează departe de echilibrul termodinamic, poate influența modelarea zonei seismogene Vrancea, respectiv alegerea și poziționarea bateriei de senzori geofizici în acea zonă.

Descoperirea în 1987 de către Per Bak, Chao Tang și Kurt Wiesenfeld ("BTW") a principiului criticalității autoorganizate evidențiază o altă proprietate esențială a sistemelor denumite complexe: *dependența comportării acestora de "istorie"*, de succesiunea de evenimente la care sistemul a fost supus. Din această perspectivă, o abordare strict cauzală nu este eficientă, căci funcția de transfer a sistemului se modifică – evoluează – pe măsura ce sistemul interacționează cu sistemele adiacente și supradiacente din ansamblul de sisteme ierarhizate din care face parte. O parte din fluxul de energie ce străbate sistemul este reținută în structura substanțial-radiativă a acestuia contribuind la tensionarea și treptată, până la o stare critică ce determină apariția unei descărcări energetice. Încărcările și descărcările energetice mențin sistemul în jurul unui punct critic (starea critică este robustă). În apropierea unei stări critice, sensibilitatea sistemului la micile fluctuații accidentale crește exponențial, fapt ce face ca variații minore ale unor factori colaterali să poată declanșa evenimente de reechilibrare energetică cu modificarea ireversibilă a structurii sistemului. Acest fapt evidențiază importanța extinderii studiului rolul factorilor declanșatori și sugerează o dată în plus că este necesară **construirea unui model capabil să evolueze odată cu Realitatea monitorizată**. Studiile realizate de Per Bak și mai ales generalizarea de către Wolfram [8] a teoriei automatelor celulare au condus la dezvoltarea unor aplicații noi: *algoritmi genetici, rețele neuronale, agenți inteligenți, viața artificială*, aplicații ce s-au structurat într-o știință Computatională, având drept obiectiv principal recrearea dinamicilor și evoluției sistemului modelat într-un alt mediu (de exemplu cel numeric) în care sunt definite și accesibile alte metodologii de vizualizare, evaluare, monitorizare. În acest fel, s-a trecut de la o modelare "statică" prin intermediul sistemelor dinamice (ecuații și sisteme de ecuații diferențiale) – **modele "rigide"** [cu soluții stabile și funcții continue, "elasticizate" prin adăugarea termenilor stocastici pentru a putea surprinde fluctuațiile ale sistemului modelat] la o **modelare inteligent-evolutivă**, realizată prin generarea sistemului, pornind de la reguli locale de interacțiune. Se poate spune că în acest mod s-a produs un salt conceptual de la **descrierea formală**, matematică, cu predictibilitate limitată la **simularea sistemului** ce poate astfel evolua asemănător realității modelate.

O altă strâmbungere conceptuală ce a condus la formarea unei științe a Complexității este considerată descoperirea realizată de Feigenbaum în 1975: *scenariul de tranziție la haos prin bifurcații succesive*. Cele două constante universale ale haosului descoperite de Feigenbaum, dezvoltarea științei computaționale în domeniul rezolvării sistemelor de ecuații neliniare, studiul comportamentului unui sistem dinamic în spațiul fazelor, descoperirea atractoarelor fractale, generalizarea teoriei bifurcațiilor sunt doar câteva aspecte care au condus structurarea unei Teorii

generale a Haosului determinist. Conform acestei teorii, printre altele, un sistem haotic manifesta "sensibilitate la conditii initiale". Altfel spus, se remarca divergenta traiectoriilor definite in spatiul fazelor ce pornesc cu o eroare oricât de mica, din jurul unei conditii initiale date, fapt ce limiteaza principial predictibilitatea dincolo de un interval initial de timp (orizont temporal). Aplicatia teoriei in domeniul circuitelor electronice a determinat aparitia oscilatoarelor haotice – *circuitul Chua* – [9] si a permis formularea conceptului de *rezonanta haotica* [10] si de *sincronizare a oscilatoarelor haotice* [11]. In ansamblul lor, aceste modele si teorii afirma ca un sistem haotic prezinta o serie de proprietati generale: - exista o anumita regula (pattern) de pierdere a stabilitatii, de tranzitie la haos (scenarii de tranzitie la haos); - exista metode de evaluare si sisteme de reprezentare formala in care acest comportament poate fi identificat si studiat (exponentul Liapunov, harti logistice, spatiul fazelor, atractori, atractori strainii); - exista valori ale conditiei initiale pentru care se pot identifica precursori ai punctelor de bifurcatie [12], ce definesc apropierea de o stare critica a unui sistem haotic (generalizand, putem spune ca este de asteptat ca un precursor sa apara sau nu in evolutia unui sistem haotic); - aplicarea unor perturbatii sub forma unei fluctuatii neperiodice de mica intensitate poate, in anumite conditii, tine un sistem haotic intr-o stare stabila, desi dinamic vorbind se afla intr-un domeniu caracterizat de o comportare instabila. Tehnica de control al proceselor haotice [13] schimba modul de intelegere a notiunii de "zgomot" si rolul sau in identificarea starii de stabilitate a unui sistem [14]; - conectarea analogica sau informationala a unor oscilatoare haotice, in anumite conditii, duce la sincronizarea variatiei in timp a oscilatiilor, fenomen de importanta cruciala in intelegerea unor cuplaje intre sisteme naturale, a variabilitatii capacitatii de predictie a unor fenomene geodinamice sau sociale, economice etc. si aplicat la asa numita *comunicare prin haos* [15].

Asimiland o zona seismic activa cu un sistem complex ierarhizat, putem face urmatoarele afirmatii: - un eveniment seismic modifica ireversibil structura sistemului, motiv pentru care este necesara o permanenta adaptare a modelului; - fiecare eveniment seismic descarca sistemul cu o valoare energetica proprie (magnitudinea) fapt ce modifica de fiecare data conditia initiala pentru noua etapa de incarcare, avand drept consecinta o predictibilitate redusa dar nu imposibila; - este de asteptat ca uneori sa se identifice precursori (dependent de conditia initiala a sistemului dupa un eveniment seismic); - fiecare eveniment seismic descarca sistemul local si transfera o parte din energie zonelor alaturate, motiv pentru care o intelegere a evolutiei in timp a unei zone seismogene nu poate fi realizata in lipsa unei retele de monitorizare la o scara superioara sistemului; - in stare critica, factorii declansatori pot alterna cu factori inhibitori, reducand predictibilitatea unui model si punand accent pe doua obiective diferite in cadrul monitorizarii unei zone seimogene: 1. evaluarea instalarii unei stari critice; 2. urmarirea proceselor de mica intensitate si rezonante cu zona hipocentrala, ce pot aduce informatii privitoare la "*formarea semnalului declansator*"; - zona seismogena aflata sub observatie este parte dintr-un sistem ierarhic superior si cuplata cu ansamblul dinamic/evolutiv GAIA [16], fapt ce permite extragerea de informatii utile din sistemele adiacente si subiacente, vii si nevii; - schimbarile de structura in functie de variatii ale fluxurilor energo-informationale si materiale respecta

legi de universalitate (pattern, constante alometrice) ce permit caracterizarea evoluției unor sisteme reale.

În baza celor de mai sus, proiectul urmărește valorificarea conceptelor, teoriilor și tehnicilor de evaluare specifice științei Complexității în construirea unui sistem inteligent de monitorizare continuă a unei zone seismice. Se va accentua utilitatea modelării de tip automat celular în înțelegerea dinamicii unei zone seismice active, realizându-se un studiu critic al rezultatelor obținute în modelarea clasică, analitică, respectiv prin modelarea discretă specifică teoriei haosului determinist. Ansamblul de modele reținute ca utile pentru modelarea unei zone geodinamic active va constitui un **multimodel**<sup>2)</sup>. Se va urmări înțelegerea volatilității precursorului în raport de condiția inițială (starea sistemului după un eveniment seismic). Explorarea comportării multimodelului prin experimente de tip Monte Carlo sau prin rularea unor simulări va permite realizarea unei baze de date utilizate pentru **trainingul unei rețele neurale**, capabilă să recunoască un pattern specific, asociat fiecărui model din componenta multimodelului și să evalueze dinamic asemănarea dintre acesta și un flux de semnale furnizate de o baterie de senzori ce furnizează informații din zona seismică monitorizată. Prin această alăturare dintre *un multimodel*, *o rețea neurală* și un *sistem de achiziție și procesare date*, capabil să alimenteze rețeaua neurală cu un flux de date din realitatea monitorizată, se realizează un **sistem inteligent de monitorizare** în general (a unei zone seismogene în particular).

Studii recente [17] arată că, sub influența unui flux de date convenabil ales, sistemul dotat cu inteligență artificială și care manifestă el însuși proprietăți de comportare haotică tinde să se sincronizeze cu Realitatea monitorizată. Altfel spus evoluția multimodelului tinde asimptotic către realitatea monitorizată. Astfel se poate afirma că proiectul urmărește cu prioritate înțelegerea teoriei generale a sincronizării sistemelor haotice și aplicarea acestei teorii în construcția unui sistem inteligent de monitorizare a zonei Vrancea.

1. Pak, P., Tang, C., **Earthquakes as a self-organized critical phenomenon**, J. Geophys. Res., 1994, 15635-15637;
2. Rundle, J., Turcotte, D. L., Rundle, P.B., Yakovle, G., Shcherbakov, R., **Pattern dynamics, pattern hierarchies, and forecasting in complex multi-scale earth systems**, Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 2006, 3, 1045-1069
3. Prigogine, I., Dewel, G., Kondepudi, D., **Chemistry Far from Equilibrium: Thermodynamics, Order and Chaos**, Cambridge University Press, 2001
4. Lovejoy S., Schertzer, D., **Scaling and multifractal fields in the solid earth and topography**, Nonlin. Processes Geophys., 14, 465–502, 2007
5. A. Bejan, **Advanced Engineering Thermodynamics**, Wiley-Interscience, 3rd edition, 2006
6. Savageau M.A., **Allometric Morphogenesis of Complex Systems: Derivation of the Basic Equations from First Principles**, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1979, vol 76, 12, pp. 6023-6025
7. Munteanu, F., Zugravescu, D., Rusu, M., Suteanu, C., **On The synergy of ruptures**, Revue Romaine de Geophysique, T 38, 1994 ;
8. Wolfram, S., **A new kind of science** ,

9. Chua, L.O., Lin, G.-N.; "Canonical realization of Chua's circuit family," *IEEE transactions on Circuits and Systems*, July 1990, vol. 37, (no. 7): 885-902.
10. Dogaru, R.; Murgan, A.T. **Chaotic Resonance Theory, a New Approach for Pattern Storage and Retrieval in Neural Networks**, Neural Networks, 1995. Proceedings., IEEE International Conference on Volume 6, Issue , Nov/Dec 1995 Page(s):3048
11. Strogatz. S., **Sync: The Emerging Science of Spontaneous Order**, Hyperion, New York, 2003
12. Munteanu, F., Zugravescu, D., Ioana, C., Suteanu, C., **On the possibility to use the Feigenbaum scenario in modelling certain geodynamic phenomena**, Revue Roumaine de geologie geophysique et geographie, serie de Geophysique, Tome 38, 1994
13. **Handbook of Chaos Control**, Schöll, E., (Editor), Schuster, H.G. (Editor), Wiley, 2007
14. Gassmann, F., **Noise-induced chaos-order transitions**, Physical Review E, volume 55, Nr.3, 1997
15. Yang, T., Chua, L.O., **Chaotic impulse radio: a novel chaotic secure communication system**, *International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Sciences and Engineering*, Feb. 2000, vol. 10, (no. 2): 345-357.
16. Lovelock, J. E.. **Gaia: A New Look at Life on Earth**, Oxford University Press, Oxford New York, 1987

Studiile prezentului proiect sunt bazate pe următoarea terminologie:

1. **evolutie** - evidentiarea traiectoriei unui sistem într-un spațiu abstract, echivalent celui din realitate precum: spațiul fazelor, al diagramelor morfologice sau pe o suprafață de catastrofă.
2. **multimodel** – ansamblu de modele (sisteme dinamice) și simulări computaționale de tip automat celular (agenți inteligenți) capabil să furnizeze referința de discriminare/clasificare a fluxului de date (striming) preluate din realitatea monitorizată;
3. **filtru informațional** – ansamblu de metode de evaluare multiscalară a fluxului de date preluate din mediul real/ din baza de date ale multimodelului;
4. **monitorizare inteligentă** - (monitorizare activă) sistem cu auto-dezvoltare (rețea neuronală) destinat achiziției și procesării datelor furnizate de o baterie de senzori capabili să furnizeze informații asupra evoluției sistemului monitorizat; asigură extragerea informației corelabile cu multimodelul utilizat;
5. **euristica** - sistem de procedee logice și de reguli metodice ale cercetării teoretice

## 2. Obiectivele proiectului

Proiectul se înscrie în categoria cercetărilor exploratorii prin profundul sau caracter transdisciplinar (în sensul definit de Basarab Nicolescu) și urmărește structurarea unei viziuni unitare a evoluției unei zone geodinamic active din

perspectiva unui sistem Complex. Intreaga activitate este desfasurata in vederea imbunatatirii capacitatii de evaluare a riscului seismic, urmarind sa contribuie la imbunatatirea calitatii vietii in zone geodinamic active.

Sunt propuse doua obiective principale :

1. structurarea unui ansamblu de modele (un multimodel) si a metodologiei specifice de caracterizare a evolutiei acestora din perspectiva unui sistem complex ce evolueaza departe de echilibrul termodinamic – cu particularizare la studiul unei zone seismic active;
2. folosirea multimodelului astfel generat si a metodologiei de evaluare multiscalara (filtru informational) in construirea unui sistem de monitorizare inteligenta a evolutiei unei zone seismic active in vederea imbunatatirii evaluarii riscului seismic.

Pentru atingerea acestor obiective, proiectul vizeaza atingerea urmatoarelor obiective punctuale:

- **Evaluarea efectului discretizarii asupra comportarii sistemelor dinamice**

Asemnator studiilor ce au condus la descoperirea scenariului de tranzitie la haos prin bifurcarii succesive a lui Feigenbaum, se va studia efectul discretizarii asupra comportamentului sistemelor dinamice utilizate in modelarea fenomenelor fizice responsabile de cumulara stresului in zone seismice respectiv de declansarea seismelor. Se vor identifica in fiecare caz in parte parametrii de control si se va studia comportarea modelului la variatia acestora. Se vor identifica cele mai bune modalitati de reprezentare si se vor sistematiza tehnicile de evaluare cantitativa a comportarii in spatii echivalente, convenabil alese.

- **Explorarea caracteristicilor oferite de simularea de tip automat in modelarea fenomenelor geodinamice in zone seismic active**

Activitatea desfasurata presupune constructia de programe de tip automat celular, specifice modelarii proceselor de rupere si particularizarea lor pentru studiul comportarii unei zone geodinamic active. Se va cauta identificarea unor pattern-uri in evolutia modelului (germinarea, dezvoltarea si percolarea fisurilor in procesele de rupere), precum si identificarea particularitatilor de monitorizare asociate unui asemenea model (amplasarea senzilor, modalitati de procesare specifice) etc. Se va urmari intelegerea diferentelor specifice dintre modelarea cu sisteme dinamice si cea prin simulare computationally ce permite vizualizarea unor procese de clusterizare a evenimentelor, dependenta dinamicii unei avalanse de istoria acumulata, evidentierea / inventarea unor metode noi de evaluare, sugerarea unor conditii de masurare.

- **Constructia unui multimodel**

Se porneste de la afirmatia ca un sistem complex poate fi aproximat printr-un ansamblu de modele convenabil alese, pe scurt un multimodel. Fiecare model utilizat va surprinde cu acuratete cate un aspect al modificarilor survenite in sistemul complex, ansamblul acestor aspecte constituindu-se intr-o masura obiectiva a evolutiei sistemului. Modificand corespunzator parametrii de control al fiecarui model in parte se poate ajusta comportamentul multimodelului astfel incat eroarea de predictie sa se minimizeze. Atunci cand acest control se face prin intermediul unei

rețele neurale se poate spune ca evoluția multimodelului va urmări treptat evoluția sistemului complex monitorizat, justificând termenul de sistem inteligent de monitorizare. În acest sens, se vor evalua și reține acele modele ce permit o evaluare cât mai eterogenă a unei zone geodinamic active pentru a asigura o viziune de ansamblu cât mai completă.

- **Construcția unui filtru informațional**

În contextul prezentului proiect, a fost definit: *filtru informațional*, ansamblul de metode de evaluare a unei serii de date cu aspect neperiodic, capabil să asocieze acesteia un set de scalari. Prin aceasta se permite o caracterizare obiectivă a structurii seriei de date. Aplicarea unor metode de evaluare: *statistice, fractale*, determinarea unor estimatori de tip *wavelets, exponent Liapunov, dimensiunea spațiului fazelor* permite generarea unui *vector* ce esențializează principalele caracteristici ale seriei de date analizate, făcându-se astfel tranziția de la o evaluare cantitativă, statistică, la una calitativă, asociată structurii semnalului analizat. Studiul va urmări optimizarea filtrului informațional pentru a putea caracteriza corect o serie de date surrogat generate prin metode cunoscute.

- **Adaptarea aparaturii de măsură și a protocolului de măsurare la cerințele impuse de monitorizarea a unui sistem complex respectiv de construcția sistemului inteligent de monitorizare**

Această etapă a proiectului vizează studiul calității lanțului de măsură și a modalității de amplasare a ansamblului de senzori geofizici în vederea adaptării la cerințele impuse de monitorizarea unui sistem complex pe de-o parte și la cerințele impuse de multimodelul utilizat pe de altă parte. În cazul unei bune adaptări se poate preconiza, așa cum arată studiile teoretice legate de sincronizarea sistemelor haotice ca, în timp, fluxul de date va fi capabil să asigure sincronizarea dintre sistemul inteligent de monitorizare și realitatea monitorizată, fapt ce va conduce la îmbunătățirea predicției oferite și implicit la o îmbunătățire a evaluării riscului seismic într-o zonă geodinamic activă.

- **Realizarea unui experiment pilot în Observatorul Geodinamic Caldărușani destinat evaluării performanțelor unui sistem inteligent de monitorizare a unei zone seismice active**

Este obiectivul principal prin care se agregă rezultatele obținute de-a lungul proiectului într-un ansamblu unitar, ce alături de rețele neurale și un filtru informațional preprocesează informația provenită de la o baterie de senzori capabili să furnizeze un flux de date din realitatea monitorizată, rețeaua fiind antrenată cu ajutorul informației furnizate de multimodelul utilizat. Întreg ansamblul structurat este proiectat în condițiile concrete cerute de implementarea în cadrul Observatorului Geodinamic Caldărușani.