

Aplicații ale măsurătorilor geofizice în studiul masivelor de sare-Zona Cutelor Diapire

[REZUMAT]

Autor: Ioana-Silvia Marica

Conducator științific: Prof. Dr. Ing. Paul Georgescu

Sarea gemă

Halitul sau sarea gemă este o clorură de natriu (sodiu), în mod popular fiind denumită și sare de bucătărie. Din punct de vedere al cristalizării se prezintă sub forma de cristale cubice, se poate recunoaște foarte ușor dacă e atinsă cu limba are un gust sărat și în același timp este solubilă în apă. Din punct de vedere al culorii de obicei e incoloră, dar putem găsi halit și de culoare roz, roz pal, verde deschis și chiar asemănător ametistului, dar de un violet șters. Mineralele din depozitele evaporitice, sarea gema (halitul), gipsul, anhidritul și sărurile delicvescente reprezintă resurse nemetalifere cu largi utilizări în industria chimică (- la producerea sodiului metalic, a sodei caustice-NaOH și a acidului clorhidic-HCl precum și a clorului-Cl₂), în industria alimentară (la realizarea conservelor), în industria materialelor de construcție, în agricultură, în tăbăcărie și în industria medicamentelor. De asemenea, izvoarele și lacurile de sare sunt utilizate încă din cele mai vechi timpuri în scop balneo-climateric.

Zăcăminte: În România zăcăminte de sare se află în localități care poartă des denumirea de ocnă (mină de sare) ca de exemplu: Ocna Sibiului, Ocnele Mari, Ocna Mureș, Ocna Dejului, Târgu Ocna etc. Acumulările de sare (în special cele diapire) și uneori cele asociate cu gipsul formează ecrane ale rezervoarelor de hidrocarburi și permite buna conservare a acestora.

Tema de cercetare "Aplicații ale măsurătorilor geofizice în studiul masivelor de sare - Zona Cutelor Diapire" își propune să analizeze și să evalueze prezența sării în zona studiată din punct de vedere geofizic (interpretarea rezultatelor seismice 2D și 3D achiziționate, precum și a diagramei geofizice înregistrate în sondele săpate în zonă).

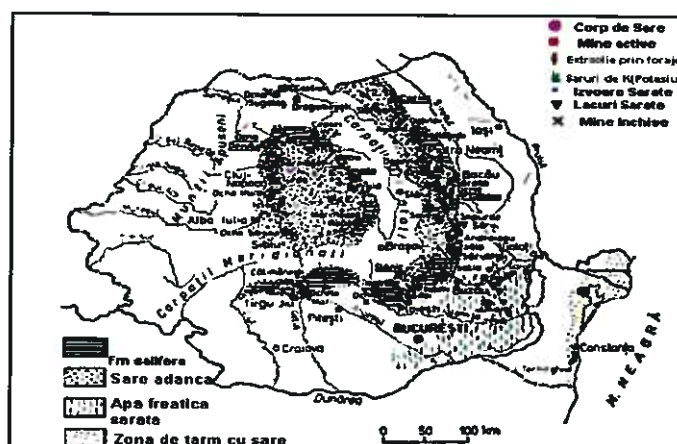


Figura 1. Răspândirea principalelor depozite de evaporite pe teritoriul României.

Scopul si obiectivele cercetării

Sarea are mare importanță în multe dintre activitățile omului cum ar fi agricultura, industria chimică, etc. Pentru orice cercetare legată de formațiuni salifere este esențială cunoașterea proprietăților fizico-chimice ale sării care intră în alcătuirea acesteia, deoarece acestea oferă informații asupra calității acesteia și pe baza lor se pot stabili strategii pentru utilizarea sau exploatarea cât mai eficientă a sării.

Cercetarea formațiunilor salifere pentru aplicații practice oferă informații rapide despre proprietăți importante ale acesteia: densitate sării, gradul de puritate al sării, salinitatea sau secvența de orizonturi. Metodele tradiționale de cercetare a formațiunilor salifere sunt costisitoare și consumatoare de timp, deoarece necesită prelevarea de probe și/sau carote, săparea de sonde, transport, depozitare a probelor și analize chimice de laborator.

Scopul acestei lucrări constă în determinarea gradului de aplicabilitate al metodelor geofizice, îndeosebi a metodei seismice, cu stabilirea gradului de relaționare dintre parametrii geofizici și petrofizici ai sării mășurați în sondele din Zona Cutelor Diapire cu principalele proprietăți fizico-chimice ale unor tipuri de sare prezente în Zona Cutelor Diapire (în special a densității acesteia).

Pentru atingerea scopului acestei lucrări au fost urmărite următoarele obiective:

- Determinarea factorilor care influențează măsurătorile de tip geofizic și petrofizic efectuate în zonele cu formațiuni salifere;
- Stabilirea unor relații între parametrii geofizici și petrofizici și proprietățile chimice ale sării din formațiunile salifere cantonate în Zona Cutelor Diapire;
- Interpretarea măsurătorilor geofizice achiziționate și procesate pentru Zona Cutelor Diapire (seismică 2D și 3D);
- Variațiile spațiale ale formațiunilor salifere din Zona Cutelor Diapire;
- Posibilități de investigare a formațiunilor salifere utilizând timpul de parcurs al unde seismice și determinarea factorilor care modifică proprietățile fizice ale unor formațiuni salifere.

Evoluția domeniului pe plan internațional și Istoricul cercetărilor geofizice a masivelor de sare în România

Geofizica este o ramură majoră a științelor Pământului care aplică principiile și metodele cantitative ale fizicii la studiul Pământului. Unul din obiectivele geofizicii este explorarea geofizică, adică studierea și explorarea interiorului Pământului, în vederea stabilirii caracteristicilor solurilor și rocilor și în vederea identificării și evaluării resurselor minerale utile.

Pentru aceasta se folosește de măsurători fizice efectuate la suprafața Pământului, cum ar fi:

- măsurători de suprafață;
- măsurători în gaură de sondă;
- măsurători din avion;
- măsurători din satelit.

Informațiile geofizice au caracter indirect. Pe baza rezultatelor prospecțiunilor geofizice nu se poate diagnostica cu certitudine existența în subsol a unei anumite categorii de acumulări de substanțe minerale utile, solide sau fluide. Informațiile geofizice permit numai indicarea prezenței unor structuri geologice ascunse, favorabile acumulării unor astfel de substanțe și să sugereze existența unor condiții geologice generale pentru geneza, migrarea și acumularea lor. Prospecțiunile geofizice nu pot indica direct astfel de acumulări, ci numai șansele ca ele să existe. Descoperirea și evaluare importanței lor economice cad în sarcina explorării cu foraje sau lucrări miniere. Prospecțiunea geofizică are rolul de a furniza obiectivele exploatării. [Botezatu-Bazele interpretării].

Datele seismice reprezintă una dintre cele mai valoroase resurse pentru investigarea structurii interne și compoziției Pământului.

Unul din primii oameni care a dedus structura internă a Pământului din înregistrările seismice a fost Mohorovicic, seismolog sârb, care în anul 1909 a observat două curbe distincte a timpilor de sosire din cadrul unui seism regional.

El a determinat că o curbă corespunde fazei directe crustale și cealaltă refracției unde la o discontinuitate cu proprietăți elastice situată între crusta și mantaua superioară. Aceasta discontinuitate globală este cunoscută sub numele de discontinuitatea Mohorovicic sau pe scurt MOHO.

La scară globală metoda Herglotz and Wiechart a fost implementată în 1910 pentru construirea unui model 1D al Pământului.

Primele lucrări tomografice cunoscute datează din anii '20, când în zona Golfului Mexic s-au efectuat o serie de împușcări în evantai în cadrul unor măsurători seismice de refracție. În 1972 Bois efectuează măsurători între 2 sonde reușind să detalieze secțiunea geologică verticală dintre acestea sonde cu evidențierea vitezelor de propagare.

Ludovic Mrazec (1867-1944) a influențat puternic întreaga activitate geologică în domeniul petrolier. Sub conducerea sa, în anul 1920 a fost elaborată prima hartă geologică a României. Ludovic Mrazec a fost primul director al institutului, din anul înființării și până în 1928, precum și mineralog și petrograf, primul profesor de mineralogie și petrografie la Universitatea din București, membru (din 1905) și președinte (1932-1935) al Academiei Române, autor al primului curs de mineralogie și petrografie publicat în România.

Ludovic Mrazec a definit termenul de “**diapir**” și fenomenul de “diapirism” (deformări plastice și ridicarea sării prin străpungerea formațiunilor de deasupra zăcămintului) pentru sarea gemă, demonstrând că ele pot oferi o capcană eficientă pentru zăcămintele de hidrocarburi. În acest context, profesorul Mrazec a explicat distribuția acumulărilor de hidrocarburi în zona neogenă, subcarpatică. Aceasta a avut un impact deosebit în explorarea și exploatarea petrolului și a gazelor naturale, deoarece a deschis perspective noi. Până atunci, singurul model de capcană erau domurile anticlinale închise pe toate cele patru laturi.

Pe plan internațional cercetările geofizice asupra masivelor de sare cunosc o nouă relansare, mai ales datorită interesului sporit în identificarea și localizarea lor cât mai strictă în comparație cu depozitele sedimentare învecinate și care conțin hidrocarburi.

Printre ultimele cercetări apar preocupări asupra Mecanismului de deformare a Sării și rolul pe care acesta îl joacă în etapele procesului de diapirism. [I. Davison și alții, 1996].

Diapirismul sării este în principal controlat de către rocile sedimentare acoperitoare, iar modele fizice sunt singurele care aduc clarificări asupra deformărilor suferite de formațiunile acoperitoare. Experimentele de deformare prezintă în general formațiuni acoperitoare dispuse în jurul formațiunilor salifere [Alsop], ca fragmente de sare intruse în formațiunea sedimentară [Koyi], precum și dezvoltate într-un sistem gigantic de falii majore regionale cum apar pe marginea continentală a Braziliei [Sztamari și alții]. Peterson și Lerche au investigat influența stratelor de sare și istoria termală. Sarea are o conductivitate (K) care este mai mare de 3 ori

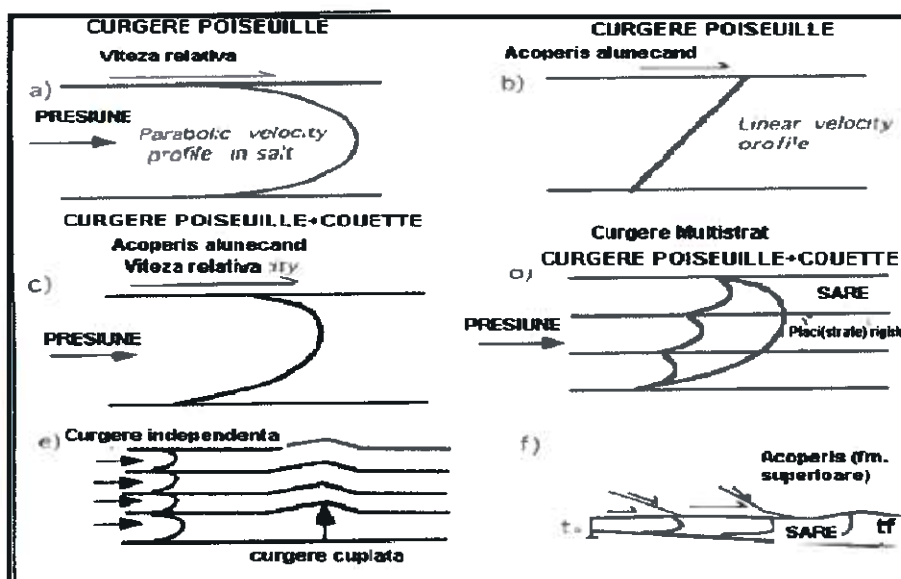
decât cea a sedimentelor înconjurătoare, dar această conductivitate descrește până la o cincime într-un diapir de sare înalt de aproximativ 5 km.

Prin contrast, creșterea compactării formațiunilor sedimentare produce o conductivitate termică mai mare decât a sării odată cu creșterea adâncimii sedimentelor. Modele variate de conductivitate cu compactarea și temperatura indică că efectele termale sunt mult mai răspândite la acoperișul sării decât în baza acesteia.

Burliga, Davidson și alții, Sans și alții, Smith și Talbot și Alvi au adus noi abordări ale modelelor de deformare în depozitele salifere. Zonele de forfecare sunt foarte frecvent dezvoltate în paralel cu stratele de formațiuni salifere [Sans și alții], acolo unde sarea devine sfărâmicioasă cu rațiile axelor cristaline X-Z atingând în mod frecvent 4:1. aparent strate nedeformate de sare sunt transportate în lateral și ridicările în forme de rame apar între zonele de forfecare din cadrul diapirului [Burliga]. În medie mărimea granulei de sare atinge 5-10 mm și 15-20 mm în formațiuni salifere deformate.

Ultimele experimente de laborator realizate pe roci evaporitice au măsurat variații de vâscozitate foarte mari de ordinul 10 al magnitudinii. Sarea uscată poate atinge o vâscozitate în jur de 10^{18} Pa s [Van Keken și alții, 1993]. Este dificil de estimat direct vâscozitatea efectivă a diapirelor la scară de timp foarte mare. Diferitele părți ale unui diapir se deformează la viteze diferite și prin mecanisme diferite [Van Keken și alții, 1993]. Analogiile cu modelele fizice și matematice dau estimări mult mai precise asupra vâscozității efective ale diapirului de sare ale cărui strate variază între 10^{16} și 10^{18} Pa s [Koyi, 1980, 1991; Napals și Brun, 1993]. Vâscozitatea sării nu este influențată prea mult de mecanismele de declanșare ale diapirismului, care este în mod inițial dependent de greutatea și stressul formațiunilor acoperitoare din acoperișul diapirului. Câteva exemple de contraste de vâscozitate estimate pentru sare și depozitele sedimentare acoperitoare au fost inițial bazate pe estimările lungime de undă-grosime utilizând teoria lui Ramberg [Ronnlund 1989, Hughes și Davidson, 1993]. Aceste estimări ale rocilor sedimentare evaporitice indică rații de $50-10^4$, care ne duc cu gândul la rocile sedimentare subțiri ca pur vâscoase [Renzhiglov și Pavlishcheva, 1970] sau cu substrat sfărâmicios [Poliakov și alții].

Fig.3

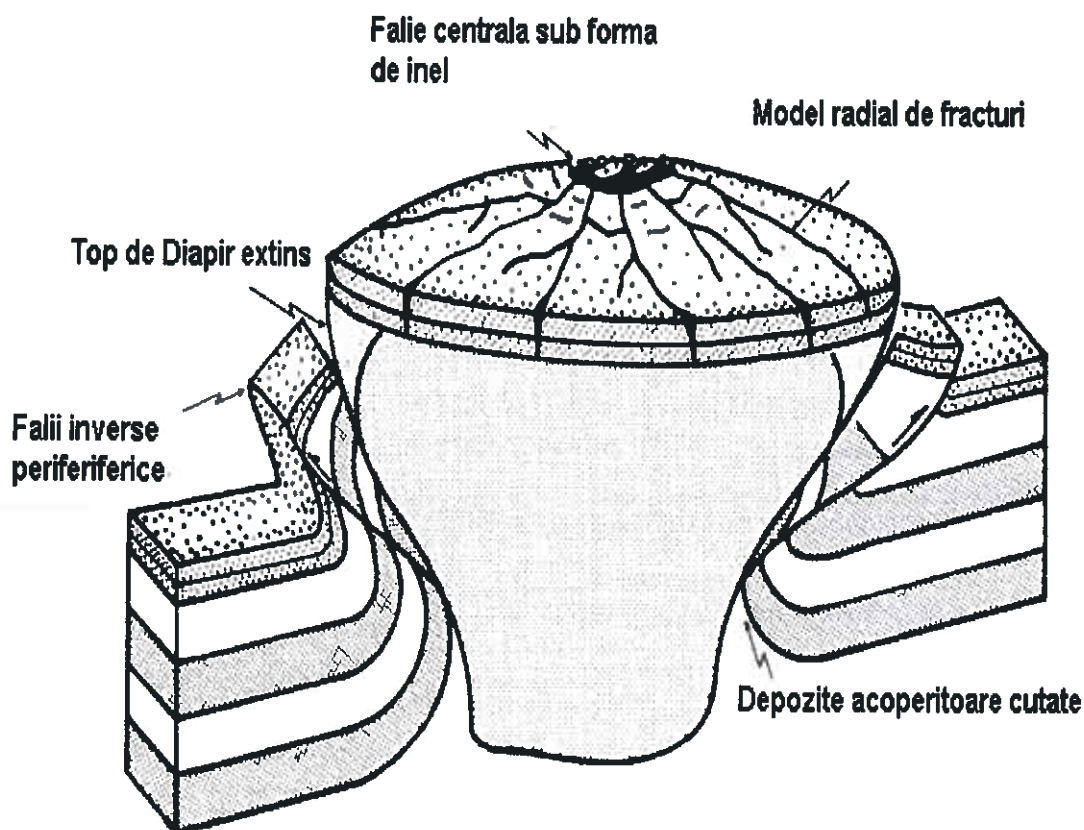


Schema profilelor de viteza. a) Curgere Poiseuille într-un singur strat gros. b). Platou de curgere Couette sau curgere laminara produsa de alunecarea depozitelor din acoperisului diapirului. c) Combinatia curgerilor Poiseuille și Couette, care probabil apare în majoritatea statelor de sare atunci când acoperisul format din depozite sedimentare este extins sau contractat. d) Curgerea Poiseuille și Couette într-un sistem multistrat de grosime echivalenta. e) Stratele reactioneaza impreuna în timpul miscarilor perpendiculare care actioneaza asupra lor. f). Curgere de sare (de grosime initiala t_0) care apare în pozitie coborata în functie de orizontul din care s-a desprins pentru a produce o formatiune salifera mai groasa (cu grosimea finala t_f în zona cea mai coborata a stratului).

Pe lângă aceste zone de sfărâmare care apar în zonele faliatate sunt și alte câteva indicații care conduc la ideea de comportament vâscos al sistemului sare-depozite sedimentare acoperitoare, atunci când se face analiza pentru perioade lungi de timp și la scara regională. Aceste indicații sunt:

- Rocile cutate sunt prezente la suprafața Pământului, cu semne de faliere a suprafețelor (exemple: Munții Zagros [Talbot și Alvi], Culmea Mexicană [Tharp și Scarborough, 1994]);
- Într-o primă aproximare, multe diapire de sare prezintă digitații elongate sau forme de digitații [Jackson și Seni, 1984, Ratcliffe și alții, 1992];
- Profilele de sedimente line-cu înclinări mici din apropierea diapirelor sunt observate în secțiunile seismice [Ratcliffe și alții, 1992], sugerând roci sedimentare care au o vâscozitate mare sugerând un comportament de fluid vâscos;
- Diapirele de noroi suprapresurizat formează unde sinusoidale [Collier și White, 1990];
- Distanțele dintre pemele de sare și diapir apar la lungimi de undă aproape constante (periodice) pe arii extinse în contrast cu distanțele neperiodice ale structurilor majore sfărâmate care apar în cadrul fundamentului.

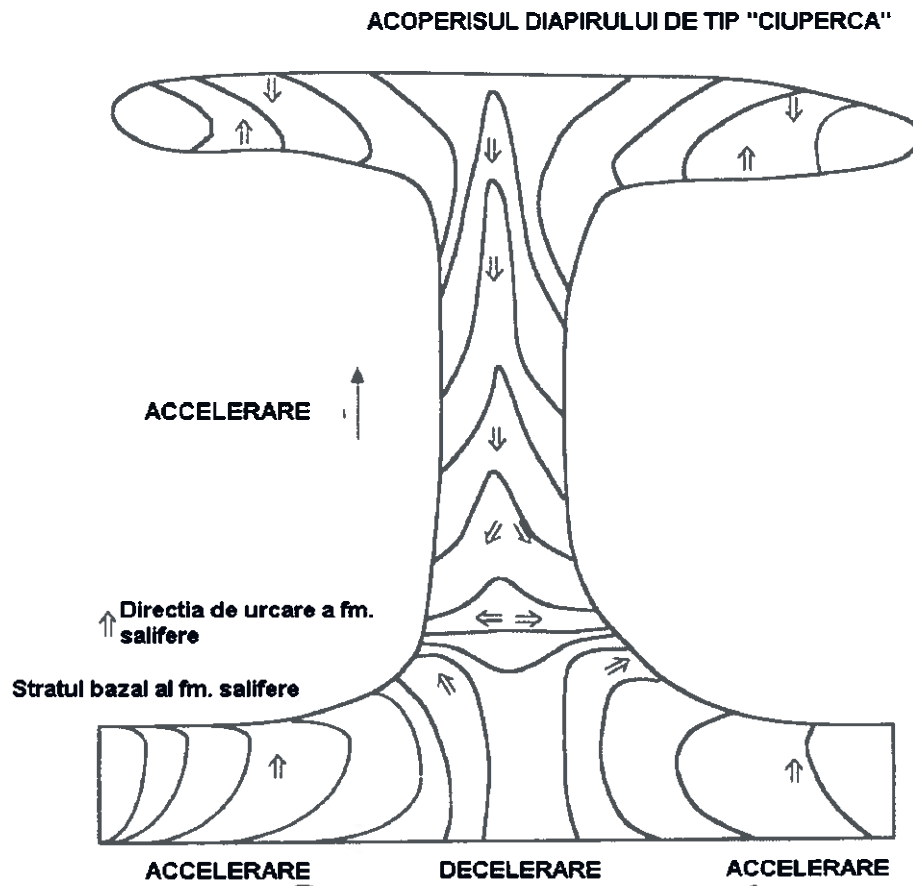
Fig 4.



Modele schematice de falii și fracturi produse în stratele din acoperisul diapirului, bazate pe observațiile modelelor fizice și pe interpretări seismice ale diapirelor de sare. [Alsop, 1996]

Cea mai nouă descoperire pe plan internațional constă în modelarea diapirelor de sare în raport cu depozitele sedimentare acoperitoare, într-o combinație în care depozitele acoperitoare sunt sisteme vâsco-elastice sau foarte puțin elastice, și unde mecanismul de deformare depinde de strain și de condițiile de mediu.

Fig .5.



Schema campurilor de viteza intr-un diapir de sare, bazat pe modele fizice care utilizeaza vascozitatea. Formele aproximative de deformare a markerilor initiali verticali sunt indicate.

Studii geofizice realizate în România pentru Zona Cutelor Diapire

Studiile geofizice realizate în Zona Cutelor Diapire au fost puține la număr și au constat în principal în analizarea din punct de vedere gravimetric al acestei zone.

Primul studiu geofizic realizat în aceasta zonă îi aparține lui Ștefan Airinei, care în perioada 1960-1967 interpretează anomaliiile gravimetrice și magnetice înregistrate pentru zona cuprinsă între râurile Buzău și Prahova. Această analiză s-a finalizat prin publicarea rezultatelor obținute în anul 1967.

Seismometria de refracție are o buna aplicabilitate în localizarea masivelor de sare, deoarece valorile vitezei de propagare a undelor elastice în masivele de sare sunt mai mari decât valorile vitezelor undelor elastice caracteristice formațiunilor geologice în care acestea sunt poziționate. Dintre studiile seismometrice de refracție care au fost realizate în România de-a lungul timpului putem aminti de cel realizat pentru Salina Slănic, Prahova- realizat de Comea și alții în anul 1973 și de cel realizat pentru Salina Praid -realizat de V.Manj și alții în cursul anului 2002.

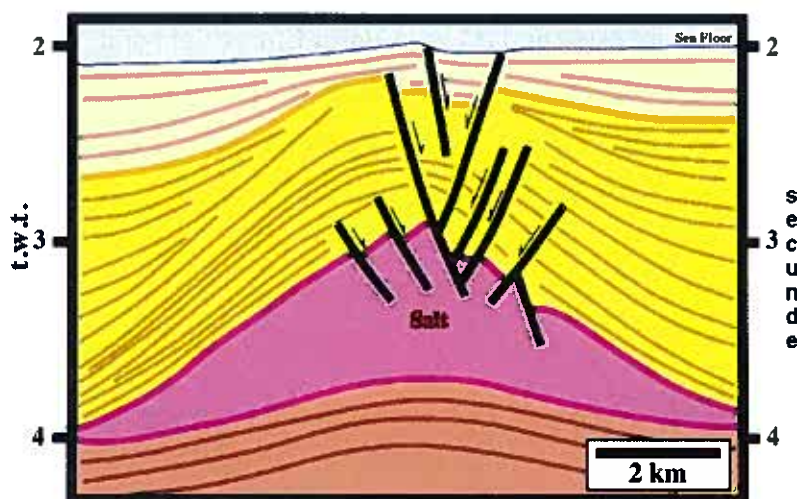
Clasificarea masivelor de sare-general

Diapir Activ - Intruziune salifera activă [Jackson, AMF și Talbot, CJ, 1991].

Un diapir post-depozițional de creștere (în forma cea mai extremă sau ideală), prin depozitele acoperitoare depuse înaintea mișcării. **Sinonim cu diapirism intruziv.** Ca și un diapir crește în relief în sus, baza sa rămâne însă constantă la o adâncime mai mare decât cea la care se găsește suprafața sedimentară pe care o intrude, dar topul intruziunii se ridică spre suprafața sedimentară acoperitoare. Cel mai frecvent, diapirele cresc printr-o combinație de membrii de intruziune activi și pasivi, deoarece sedimentele se acumulează în timp ce străpungerea implică forțe puternice de intruziune. Acest tip de intruziune activă apare cel mai probabil în diapirele înalte care sunt acoperite de depozite sedimentare relativ subțiri, cu excepția cazului în care depozitele acoperitoare sunt: (i) extinse, (ii) vâscoase sau (iii) neobișnuit de slabe, în sensul geomecanic.

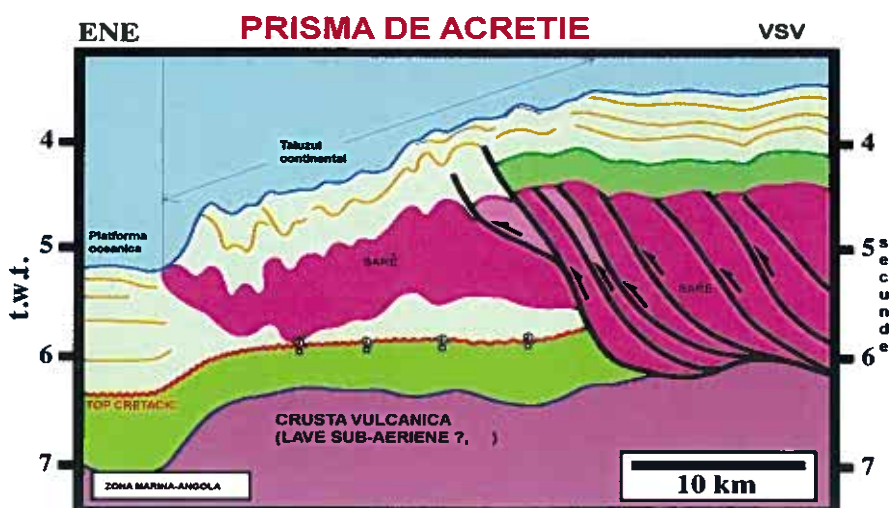
Fig.7

DIAPIR ACTIV- INTRUZIUNE SALIFERA ACTIVA



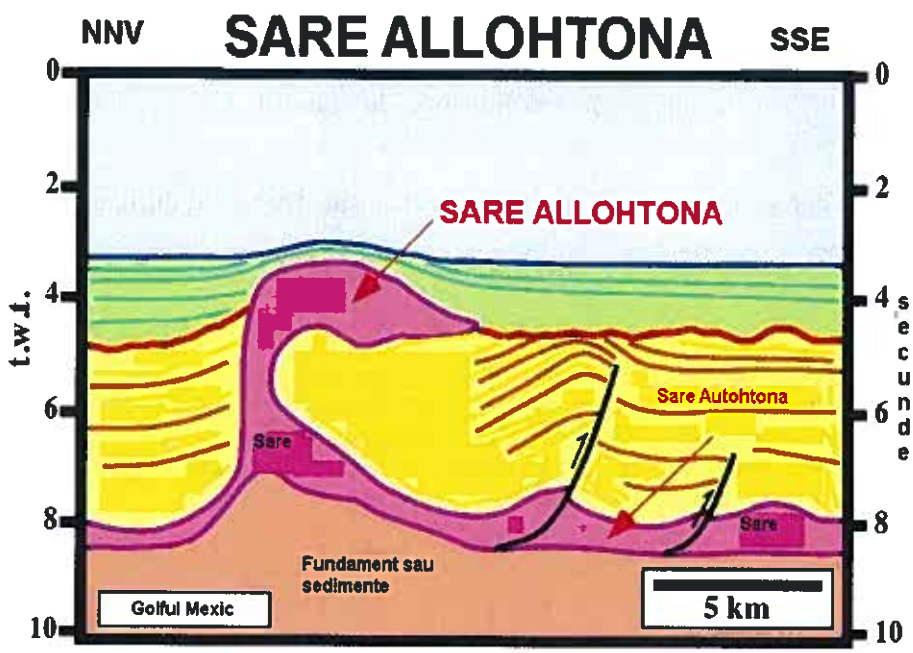
Prisma de Acreție este o structură secundară sedimentară produs de creșterea exagerată, de acumulare sau de adăugarea la un nucleu preexistent. Prismele acreționare se regăsesc întotdeauna în asociere cu curgerile de sare în structurile allohtone, cum ar fi placa de sare și lacolitul de sare, etc.

Fig. 8



Sare Allohtonă- stratul de sare care acoperă o parte din depozitele mai tinere acoperitoare ale formațiunii salifere, ca un corp de sare tectonizat la nivel stratigrafic acoperind orizontul de sare autohtonă. Acesta orizont de sare allohtonă se află în cadrul straturilor mai tinere din punct de vedere stratigrafic.

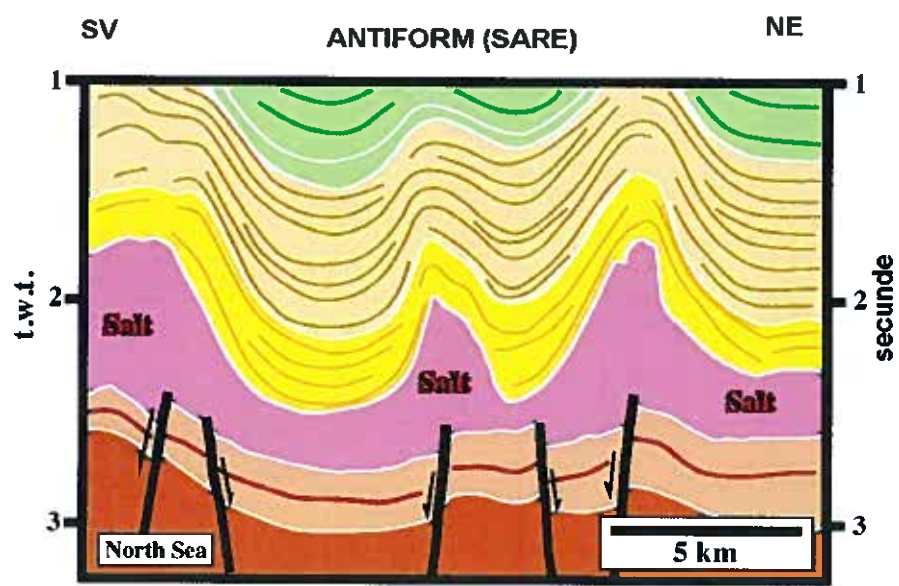
Fig. 9



Antiform (sare)

O structură alungită de sare în formă de clopot în concordanță cu depozitele sedimentare mai tinere acoperitoare. Sare antiformală este adesea eronat considerată ca sinonimă a unui anticlinal de sare. Anticlinal este un termen genetic pentru a descrie o structură compresională. Antiform este un termen non-genetic pentru a descrie o geometrie în formă de clopot. Toate anticlinale sunt antiforme, dar nu toate antiforme sunt anticlinale.

Fig 10



Proprietățile sării care influențează parametrii geofizici

Habitus NaCl: agregate macrocristaline (5-10 cm); cristale izolate cubice, rar octaedrice, în diverse roci pelitice; eflorescențe sau cruste și rar sub formă de stalactite.

Incluziuni: argilă, bitumine, oxizi și hidroxizi de Fe.

Transformări: se dizolvă ușor; adesea pseudomorfoze de anhidrit, gips, polihalit, celestină, dolomit, cuarț, hematit și pirită după halit

Proprietăți fizice: clivaj rectangular, (001) perfect; greutate specifică - 12; duritate mică - 2; incolor.

Proprietăți optice: N_{\parallel} : relief scăzut; N_{+} : izotrop.

Proprietăți

Se prezintă sub formă de cristale cubice, **incolor**, cu gust sărat, solubile în apă (37,7% la 0°C, 39,12% la 100°C), greu solubile în **alcool etilic** (CH_3CH_2OH) și **amoniac** (NH_3) lichid. Are **punctul de topire** 801°C, **punctul de fierbere** 1440°C și **densitatea** de 2,16 g/cm³. La temperaturi mai mici de 15°C cristalizează ca dihidrat, iar deasupra acestei temperaturi, anhidru.

Punctul de topire al unui solid este temperatura la care își schimbă starea de agregare din solid în lichid. Când acest punct este considerat temperatura procesului invers, aceasta este menționat ca punct de solidificare. De exemplu, punctul de topire al mercurului este de 234.32 kelvini. Spre deosebire de punctul de fierbere, punctul de topire este relativ indiferent la presiune, însă numai la variații nesemnificative ale acesteia.

Punctul de fierbere al unei substanțe este temperatura la care tranziția de la starea de agregare lichidă la cea gazoasă se petrece în volumul lichidului și nu doar la suprafață. Întrucât punctul de fierbere depinde de presiune, aceasta trebuie precizată. Adesea punctul de fierbere se dă la presiunea de 1 atm (101325 Pa).

Proprietățile pentru SAREA GEMA

Nr. crt.	PROPRIETATEA	SIMB OL	Unitatea de Masura	VALOAREA	Fenomenul fizic	Metode geofizice
1	Densitatea	δ	kg/m ³	2.135	Campul gravific	Gravimetria, Geofizica de Sonda
2.1	Rezistivitatea electrica	ρ	Ωm	10^4-10^{15}	Fenomen electric(natural sau provocat)	Electrometria, Geofizica de Sonda
2.2	Conductivitatea electrica	σ	mho/m	$1/(10^4-10^{15})$		
3	Viteza de propagare a undelor elastice				Campul de unde elastice provocat in subsol	Seismometria (selsmica), Geofizica de Sonda
3.1	Viteza de propagare a undelor longitudinale(compresionale) P	V_p	m/s	4000-5500		
3.2	Timpul de propagare al undelor P	t_p	$\mu s/m$	200-179		
3.3	Viteza de propagare a undelor transversale (de forfecare) S	V_s	m/s	2000-3200		
4.1	Radioactivitatea				Campul de radiatii radioactive	Radiometria, Geofizica de Sonda
4.2	Continutul in Radium echivalent		$\mu g/Ra \cdot g$	1-2		
5.1	Conductivitatea termica	λ	kcal/m°C*ora	3.35-6.2	Campul geotermic	Termometria, Geofizica de Sonda
5.2	Rezistivitatea termica	S	m°C*ora/kcal	0.30-0.16		
5.3	Caldura specifica	c	kcal/kg°C	0.204		
5.4	Coefficientul de difuzivitate termica	a	m²/ora	7.68-14.0		

Figura 11. Proprietățile Sării Geme, după C. Stoica și I Gherasie.

Tectonica Zonei Cutelor Diapire

Carpații Românești reprezintă o centură la scară largă în formă arcuită ca răspuns la evoluția de la Triasic către Terțiar a doua blocuri continentale, Dacidele Mediane sau a fragmentului Rhodopian către vest și sud și Platformele Est-Europeană/ Scitică/Moesică către est și nord. Carpații constau în pânze groase și subțiri deformată prin încălecare și transpresiune dextrală în timpul Cretacicului Median către Pliocen. Pânzele de încălecare sunt alcătuite din roci cristaline și sedimentele din Paleozoic către Terțiar, parțial depozitate într-un bazin de la Triasic până la Cretacicul Timpuriu. Scurtele perioade de extensie orogen-paralele au întrerupt compresia generală [Dinu și alții].

Perioada de timp cuprinsă între **Paleogen-Miocen Timpuriu** este în principal o perioadă de non-depuneri și/sau eroziuni în mari părți ale Vorlandului Carpatic. Cea mai semnificativă excepție a fost Depresiune Getică și colțul cel mai vestic al Platformei Moesice.

Stratigrafia Zonei Cutelor Diapire

CUATERNAR	HOLOCEN	SUPERIOR	1	qh2		Pietrisuri, nisipuri, argile nisipoase		
		INFERIOR	2	qh1		Pietrisuri, nisipuri, depozite loessoide		
	PLEISTOCEN	SUPERIOR	3	qh33		Pietrisuri, nisipuri		
			4	qh23		5 Pietrisuri, nisipuri		
			5	qh13		6 Pietrisuri, nisipuri, depozite loessoide		
			7	qp2 qp3		7 Depozite loessoide		
		MEDIU	8	qp1		8 Pietrisuri, nisipuri, argile (Strate de Candesti si Strate de Fratesti)		
NEOGEN	PLIOCEN	LEVANTIN	9	lv		9 Argile, nisipuri, marne cu carbuni		
		DACIAN	10	dc	11 p-dc	10 Nisipuri, rare pietrisuri, argile cu carbuni		
		PONTIAN	12	p		11 Argile nisipuri 12 Marne, argile, nisipuri cu strate de carbuni		
		MEOTIAN	13	m		13 Nisipuri, gresii, argile, marne		
	MIOCEN	SARMATIAN	14	sm		14 Marne, argile, nisipuri, calcare		
		BADENIAN	15	bn		15 Marne, sisturi argiloase, breccii, tufuri, SARE		
		HEL VETIAN	16	he		16 Gresii, marne, gipsuri, conglomerate		
		BURDIGALIAN-AQUITANIAN	17	aq-bd		17 Gipsuri, sisturi argiloase, gresii, SARE		
		PALEOGEN	OLIGOCEN	LATTORFIAN-CHATTIAN	18	lf-ch		18 Argile, marne, disodite, menilite, breccii, sisturi argiloase-marmoase (Strate de Pucloasa), gresii (de Fusaru si de Kliwa), flis (Strate de Podu Morii)
EOCEN	PRIBONIAN-YPRESIAN		19	Pg2		19 Flis (Sotrlite) flis cu argile bariolate (Strate de Plopu) gresii si sisturi (Facies de Cott)		
PALEOCEN			20			20 Marne rosii 21 Marne si argile bariolate, Flis (Sotrlite)		
CRETACIC	SUPERIOR	SENONIAN	23	tu-sm	22 sm	22 Marne, argile, breccii 23 Marne, gresii, conglomerate		
		TURONIAN				24 Sisturi, gresii, breccii (Strate de Macia)		
		CENOMANIAN				25 Marne, siltite, gresii masive, conglomerate		
	INFERIOR	VRACOMAN			26 al	26 Sisturi, gresii, curbicortice (Strate de Teleajen)		
		ALBIAN	27	al		27 Gresii grosiere, gresii argiloase, conglomerate (de Bucegi), breccii calcareoase		
		APTIAN				28 Sisturi argilo-marmoase si calcarenite (Strate de Comarnic), gresii si marmo-gresii, sisturi si gresii curbicortice (Strate de Teleajen)		
		BARREMIAN	28			29 Marne, marmo-calcare, sisturi, gresii calcareoase cu intercalatii de conglomerate si calcarenite (Strate de Sinala)		
		NEOCOMIAN	29	ne				
JURASIC	SUPERIOR		30	J3		30 Calcare, calcare dolomitice si dolomite, radiolarite		
	INFERIOR		31	J2		31 Microconglomerate, calcare nisipoase si marmoase, gresii cuarțite		
TRIASIC	INFERIOR	CAMPILIAN	32	wc		32 Calcare în placi		
PALEOZOIC-PROTEROZOIC SUPERIOR			33	Pp-Pz		33 Seria de Leaota		
ANTE-PROTEROZOIC SUPERIOR			34			34 Seria de Cumpana		

Figura 12. Coloana litologică a formațiunilor geologice din Zona Cutelor Diapire

Formațiuni evaporitice Miocen inferioare

În întregul domeniu al Moldavidelor, atât litofaciesul bituminos cât și cel de Fusaru (ca și echivalenții lor) sunt urmate de o secvență predominant evaporitică [Săndulescu și alții, 1995].

În Pânzele Subcarpatice și Pânza Cutelor Marginale se dezvoltă la acest nivel **Formațiunea sării** (matrice argiloasă – siltică, de culoare cenușiu-închis cu intercalații: de brezii sedimentare, conglomerate, de argile sau marne salifere; gipsuri și corpuri discontinue de sare). În unele arii, aceasta asociație “haotică” este urmată de o secvență mai mult sau mai puțin stratificată de marne, argile și gresii sau de gresii arcoziene grosier granulare (Gresia de Condor). **Distribuția areală a Formațiunii Sării Miocen Inferioare este discontinuă din motive paleogeografice** (zone de depunere separate de riduri emergente) și tectonice (corpuri diapire).

În Pânza de Tarcău, ca și în ariile mai interne ale Domeniului Moldavidelor, secvența predominant evaporitică miocen inferioară a fost introdusă în literatura geologică de Mrazec (1901), sub denumirea de “**Strate de Cornu**”, având un “trecut zbuciumat” sub aspectul controverselor asupra conținutului și al vârstei, reliefat exhaustiv în istoricul tezei de doctorat a lui Grujinschi (1972). Având sensul entității stratigrafice cuprinse între Formațiunea de Starchiojd, în bază, și Molasa de Doftana, ce debutează cu Conglomeratele de Brebu, la partea superioară, Formațiunea de Cornu (sensu Mrazec, 1914) este divizată de către Grujinschi în:

- (a) **Formațiunea gipsurilor inferioare;**
- și (b) **Formațiunea brecioasă.**

După Ștefănescu (1978), în aria de curbura a Carpaților Orientali, finalul sedimentării flișului este marcat de un nivel evaporitic (Gipsurile inferioare din Formațiunea de Cornu, sensu Mrazec, 1914), care stă discordant peste Formațiunea Disodilelor Inferioare din litofaciesul intern (de Pucioasa-Fusaru) a Oligocen - Miocenului inferior și, respectiv, peste Formațiunea Menilitelor Inferioare din litofaciesul extern (bituminos cu gresii de Kliwa). De fapt, în ambele litofaciesuri nivelul evaporitic stă discordant peste unica Formațiune de Starchiojd (Popescu, 2000). Nivelul evaporitic este denumit Formațiunea de Sărata (complex de roci alcătuit din două pachete de gips groase de 1-4 m, separate de un nivel de brechie sedimentară, groasă de 10-20 m și formată din elemente provenind în special, din faciesul de Valea Caselor).

După Ștefănescu și Mărunțeanu (1980), în aria de curbura a Carpaților Orientali, **Formațiunea de Sărata** (cu baza formațiunii situată în zona NN3 = partea terminală a Burdigalianului inferior), reprezintă debutul sedimentării în facies de molasă (**Molasa de Doftana de vârsta Burdigalian inferior –mediu**).

După Săndulescu et al. (1981), acoperișul post-tectogenetic al pânzelor de geneza miocen inferioară (discordant peste depozitele Pânzei de Tarcău) are în baza Formațiunea de Cornu, discordant urmată de depozitele molasice ce debutează cu Conglomeratele și gresiile de Brebu.

După Săndulescu et al. (1995), în pânza de Tarcău, **Formațiunea Evaporitică a Miocenului inferior** este reprezentată de: (a) **gipsuri (denumite “Gipsurile inferioare”)** ce au deasupra lor, (b) **o secvență șistoasă, nisipoasă (Formațiunea de Cornu s.str., Mrazec, 1907; fide Popescu Voitesti, 1935)**, cu faune și microfaune marine (ea poate fi un corespondent al GRESIEI de Condor).

Aliniamentele structurilor de hidrocarburi prezente în Zona Cutelor Diapire

Zona Cutelor Diapire a fost împărțită în 4 aliniamente majore în funcție de tipurile de diapirism întâlnit:

- Aliniamentul 1: Zona de acumulare a Cutelor Diapire Revărsate;
- Aliniamentul 2: Zona de acumulare a Cutelor Diapire Exagerate;
- Aliniamentul 3: Zona de acumulare a Cutelor Diapire Atenuate;
- Aliniamentul 4: Zona de acumulare a Diapirismului Profund (Criptodiapir).

Aceste aliniamente se poziționează geografic pe teritoriul județelor Dâmbovița, Prahova și Buzău (figura 13).

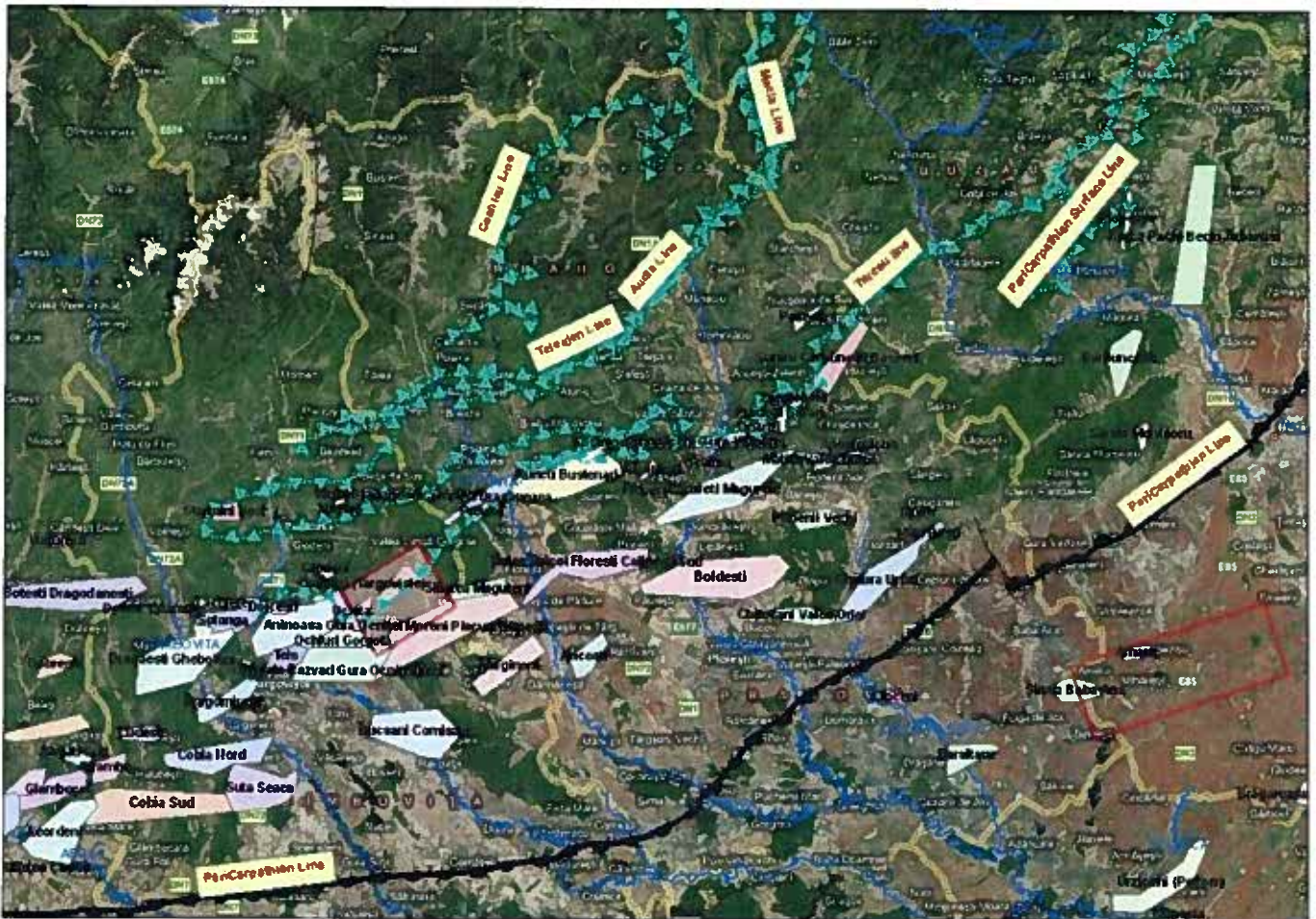


Figura 13- Poziția geografică a structurilor cu hidrocarburi din Zona Cutelor Diapire, harta realizată în GIS de I. Marica.

Structurile geologice din zonă sunt legate de diapirismul sării. Aceste structuri sunt de tipul cute anticlinale faliate, monocline, cute-falii și slabe boltiri pe fondul unor sinclinale.

În general, în Zona Cutelor Diapire s-au acumulat în structurile anticlinale hidrocarburi datorită condițiilor favorabile, adică de existența de roci sursă și roci colectoare, precum și prezența formațiunilor salifere în diverse stadii de diapirism și a faliilor etanșe (cu caracter normal, invers și/sau de strike-slip) - care se constituie ca și capcane de acumulare a acestora-ecrane. În structurile de tip anticlinal din Zona Cutelor Diapire (anticlinale faliate, monocline și cute-falii) s-au identificat și evidențiat încă începând cu anul 1900 zăcăminte de hidrocarburi s-au exploatat sau/și exploatează, iar aceste zăcăminte au fost și/sau sunt în continuare investigate cu metode geofizice (de sondă, seismice 2D și 3D începând cu anul 2005).

Aliniamentele sunt compuse din următoarele structuri care cantonează zăcăminte de hidrocarburi:

Aliniamentul 1-Zona de acumulare a Cutelor Diapire Revarsate (format din structuri în care sarea este la suprafață - din structuri de tipul cutelor falii)

1. <u>Aninoasa</u>
2. <u>Campina-Draganeasa</u>
3. <u>Colibasi,</u>
4. <u>Mislea-Runcu-Bustenari</u>
5. <u>Ocnita</u>
6. <u>Pacureti-Magurele</u>
7. <u>Scaiosi</u>
8. <u>Varful Draganesei</u>
9. <u>Valea Resca</u>

Aliniamentul 2-Zona de acumulare a Cutelor Dipire Exagerate (acolo unde sarea apare sub depozite cuaternare)

1. <u>Moreni</u>
2. <u>Ochiuri-Gorgota</u>
3. <u>Tintea-Baicoi-Floresti-Calinesti</u>
4. <u>Viforata-Razvad-Gura Ocnitei</u>
5. <u>Teis</u>

Aliniamentul 3-Zona de acumulare a Cutelor Dipire Atenuate (sarea de obicei apare sub nivelul Meotianului):

1. <u>Aricesti</u>
2. <u>Bratesti</u>
3. <u>Bucsanii-Comisani</u>
4. <u>Margineni</u>

Aliniamentul 4-Zona de acumulare a Diapirismului Profund-criptodiapir (structuri în care sarea este cantonată la adâncimi mari):

1. <u>Barbuncesti</u>
2. <u>Berca-Pacle-Beciu-Arbanasi</u>
3. <u>Boldesti</u>
4. <u>Chitorani-Valea Orlei</u>
5. <u>Copaceni-Gura Vitioarei</u>
6. <u>Finta</u>
7. <u>Gheboia</u>
8. <u>Grajdana</u>
9. <u>Malu Rosu</u>
10. <u>Matita-Valea Dulce</u>
11. <u>Opariti</u>
12. <u>Predeal-Sarari</u>
13. <u>Podenii-Vechi</u>
14. <u>Surani-Carbunesti</u>
15. <u>Tataru</u>
16. <u>Urlati</u>

Realizarea Cercetării formațiunilor salifere din cadrul Zonei Cutelor Diapire

Cercetarea formațiunilor salifere din cadrul Zonei Cutelor Diapire s-a realizat în 3 etape:

1. Achiziția datelor geologice și geofizice :

S-au achiziționat toate datele necesare unei analize detaliate, date provenite din sondele săpate în zonă (1. carote care conțin sare prelevate din sondele din zonă, 2. carotajele sondelor , în special a celor care au înregistrate și date de timp și /sau viteză a undelor -P, 3.date din check-shoturile și VSP-urile înregistrate în sonde, etc.), datele seismice de reflexie 2D și 3D achiziționate și procesate pentru Zona Cutelor Diapire:

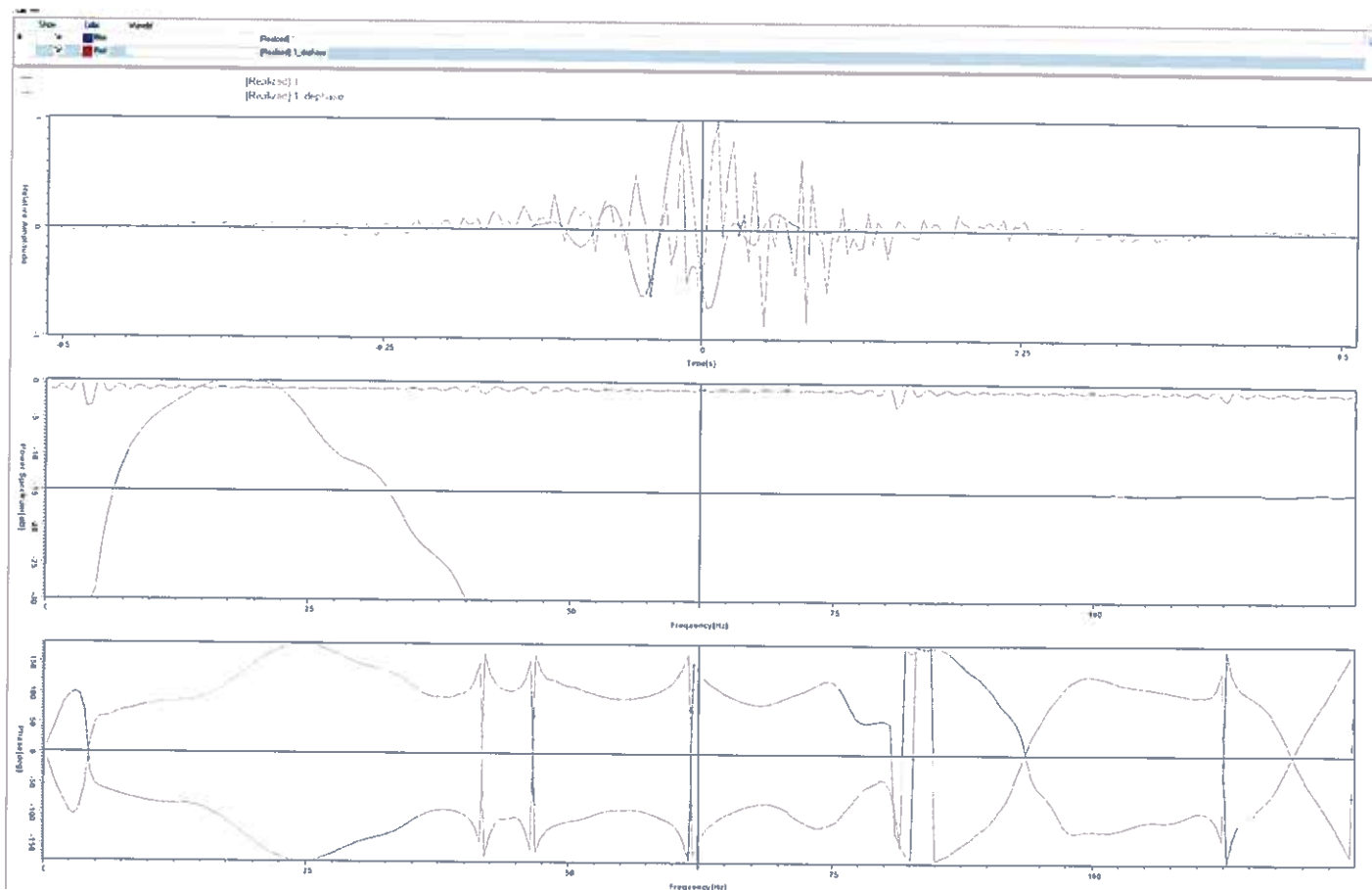
- carotele cu sare prelevate din forajele săpate în Zona Cutelor Diapire nu sunt foarte numeroase. Au fost identificate doar 8 carote, dintre care 4 au indicată vârsta Aquitaniană.

Fig. 14.

Interval carotat, m		Grosime metri	Descriere litologică	Varsta
Top	Baza			
904	900	0.05	Sare grauntoasa alba, cu mici elemente de argila fina verzule	Miocen/ Helvetian de suprafata
		0.06	Anhidrit cu fete marnoase cenusii	
		0.05	Marna slab nisipoasa cenusie verzule, fin micafera.Proba framantata	
587.5	587	0.5	Anhidrit cu filme de argila cenusie calcaroasa si intercalatii de cinerit	Helvetian de suprafata
1435	1433	2	Sare grauntoasa impura cu incluziuni de argila slab nisipoase	Aquitanian
1485	1482	3		
1683.5	1681	2.5		
1773.5	1771	2.5		
2002	2000	2		
1431	1428.5	2.5	Sare grauntoasa cu incluziuni de argila cenusie fina	Aquitanian
828	827.5	0.5	Anhidrit cu incluziuni de sare	Aquitanian
1888	1887	1	Sare grauntoasa cu incluziuni de argila cenusie fina	
2070	2069	1	Sare grauntoasa	
2094.5	2092	2.5	Sare grauntoasa	
2102	2100	2	Sare grauntoasa cu incluziuni de argila cenusie fina	
2151.5	2150	1.5	Sare grauntoasa	
1015.5	1014.5	1	Marna cenusie cu anhidrit si sare	Aquitanian
2076	2071	5	Sare grauntoasa impura cu incluziuni de marna cenusie slab nisipoasa 20 %	Badenian
2006	2001	5	Sare gema cu foarte rare impuritati	Miocen / posibil Burdigalian
TOTAL		8		
carote:				
2	25.0%	carote de varsta Helvetian (pozitionat aproape de suprafata)		
4	50.0%	carote de varsta Aquitanian		
1	12.5%	carota de varsta Badenian		
1	12.5%	carota de varsta Miocen posibil Burdigalian		

-datele de seismică de reflexie 2D înregistrate în Zona Cutelor Diapire, peste 106 profile seismice 2D, s-au înregistrat între anii 1974 și 2007, cu o rezoluție mai bună sunt doar aproximativ 64 înregistrate după anul 1980 și până în prezent, dar nu au o bună acoperire pentru toată zona;

- datele de seismică de reflexie 3D sunt date provenite din 3 cuburi de seismică 3D care au fost achiziționate separat în perioada 2005-2011, care ulterior au fost procesate împreună și mai apoi interpretate împreună.

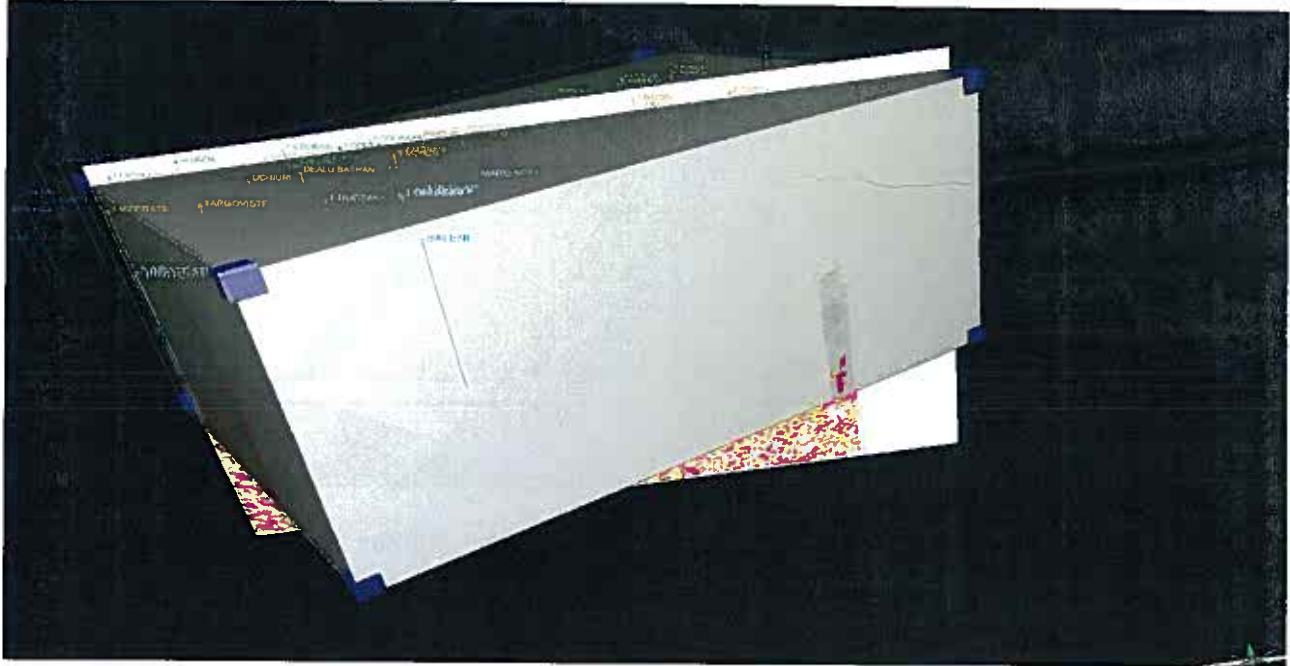


- compararea rezultatelor seismogramelor sintetice cu datele de timp provenite de la sondele care au înregistrări de tip check-shot și VSP (doar 39 de sonde au acest tip de date în cadrul Zonei Cutelor Diapire);
- analizarea calității profilelor seismice 2D.

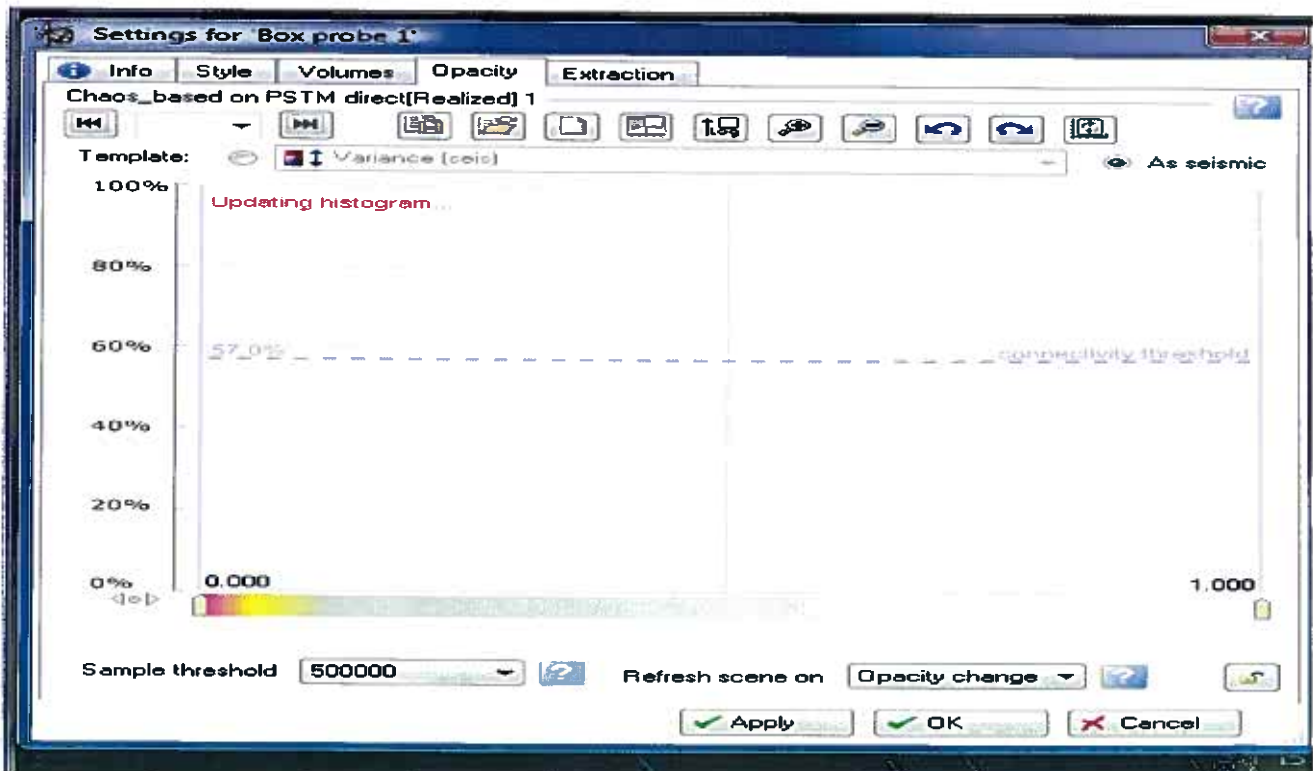
3. Interpretarea datelor seismice 2D și 3D și coroborarea rezultatelor acestora

- interpretarea datelor seismice 2D cu accent pe zona în care cubul seismic 3D nu are acoperire, respectiv Aliniamentul 4 al zonei;
- realizarea atributelor seismice necesare pentru localizarea formațiunilor salifere (Haos-"Chaos", Inclinare locala- "Dip deviation" și "Envelope");
- aplicarea algoritmului lui Alsop pentru evidențierea pe datele seismice 3D a pereților sării ("salt linearization") pentru a putea fi identificată și localizată, [algoritmul lui Alsop este prezentat pe scurt de către Ferguson și alții, vol.28, oct.2010, EAGE].

3. Pe atributul Haos (Chaos) s-a inserat o celulă de extracție (box-probe) pe intervalul 0-4500 ms TWT, în scopul extragerii unui geobody (corp de sare):



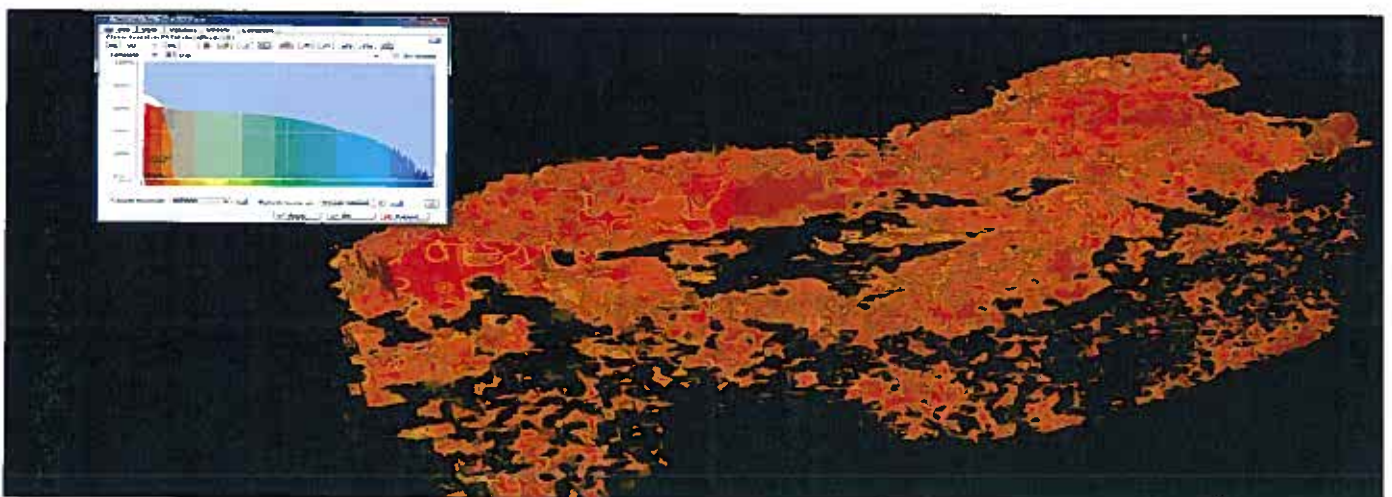
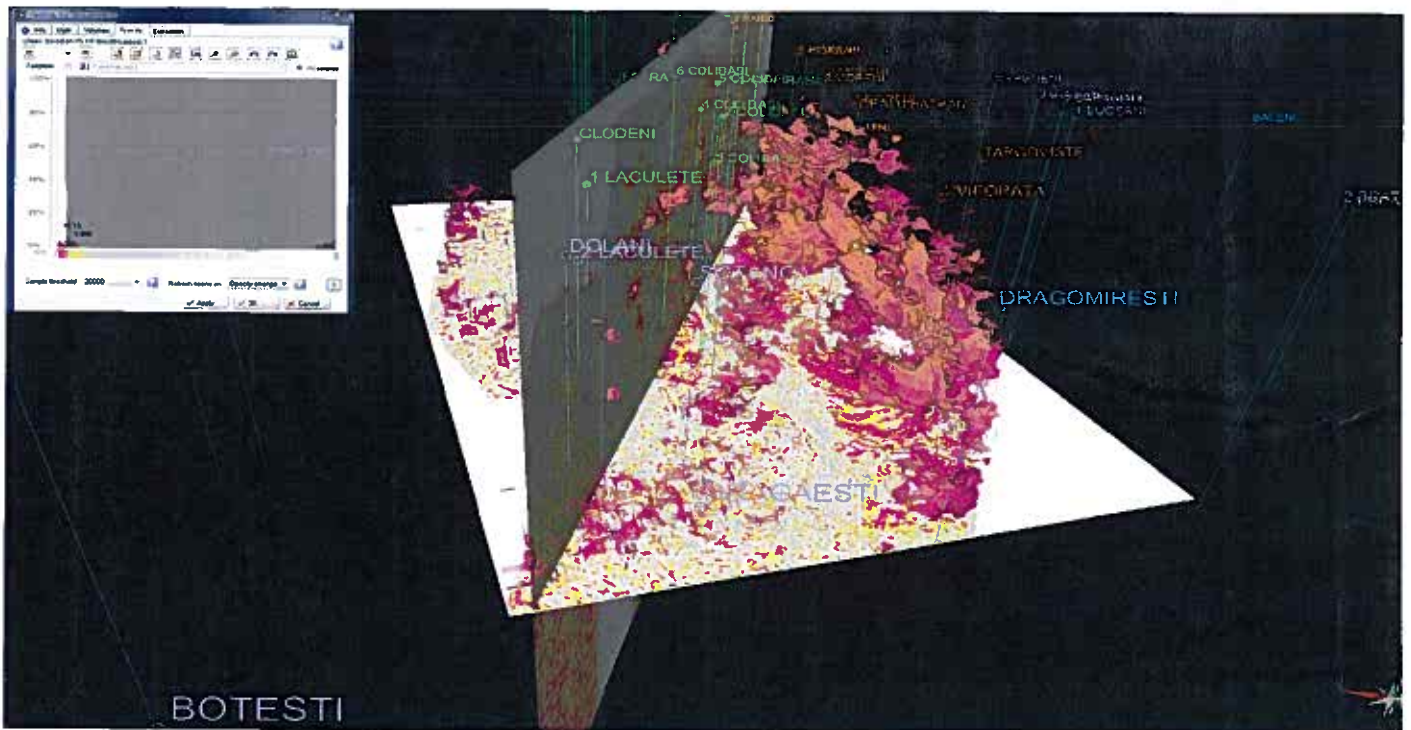
4. Cu ajutorul celor 3 cuburi de atribute seismice (Chaos, Dip și Envelope), în același timp la extras din box probe pentru opacitate mai bună -cu baza constituită din atributul seismic Haos (Chaos):



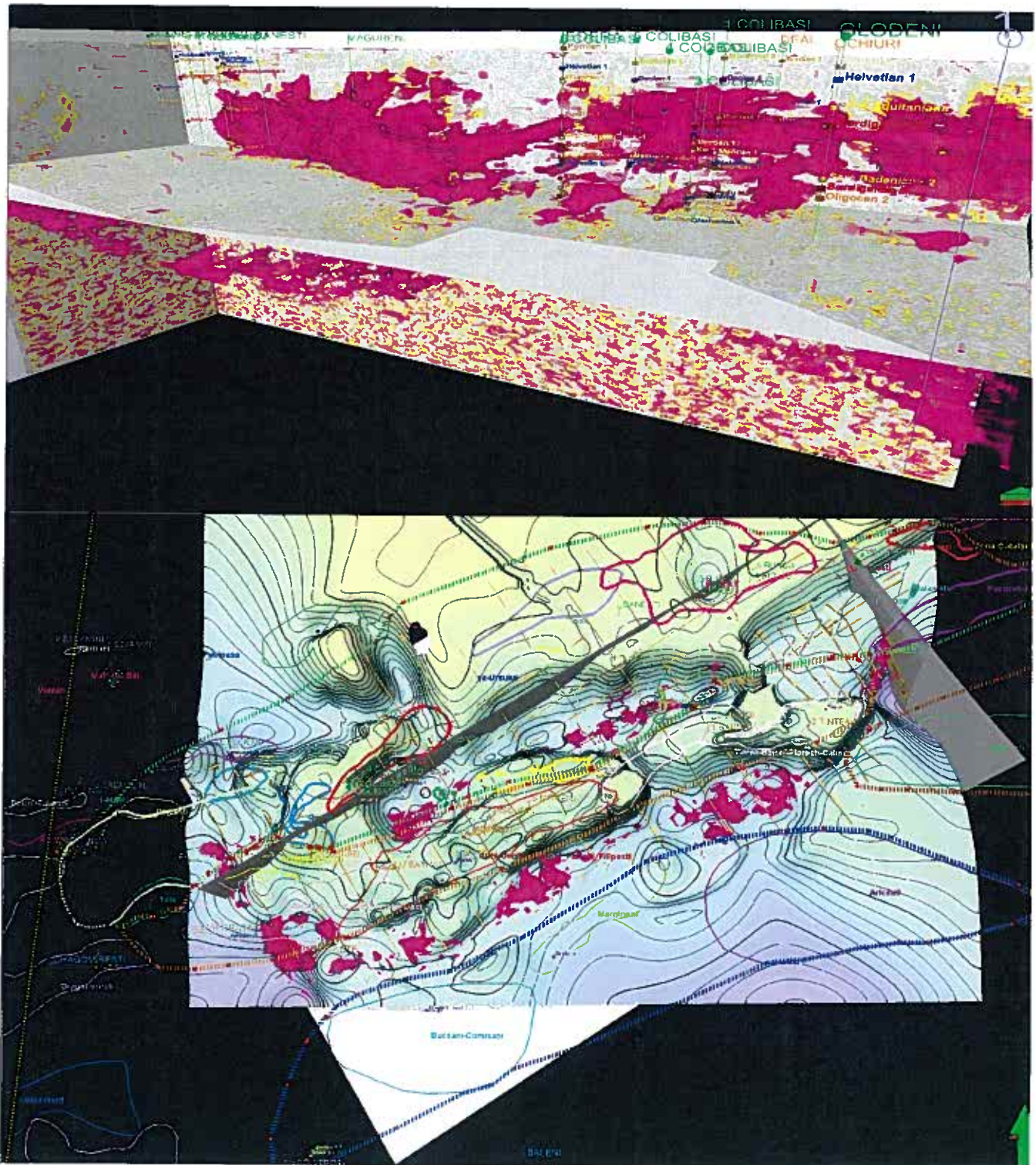
7. Extragerea corpului de sare (salt geobody extraction)

Stabilirea opacității în vederea extracției corpului de sare (salt geobody) este un proces iterativ și se repetă până când se stabilește zona de interes, respectiv zona cu formațiune saliferă.

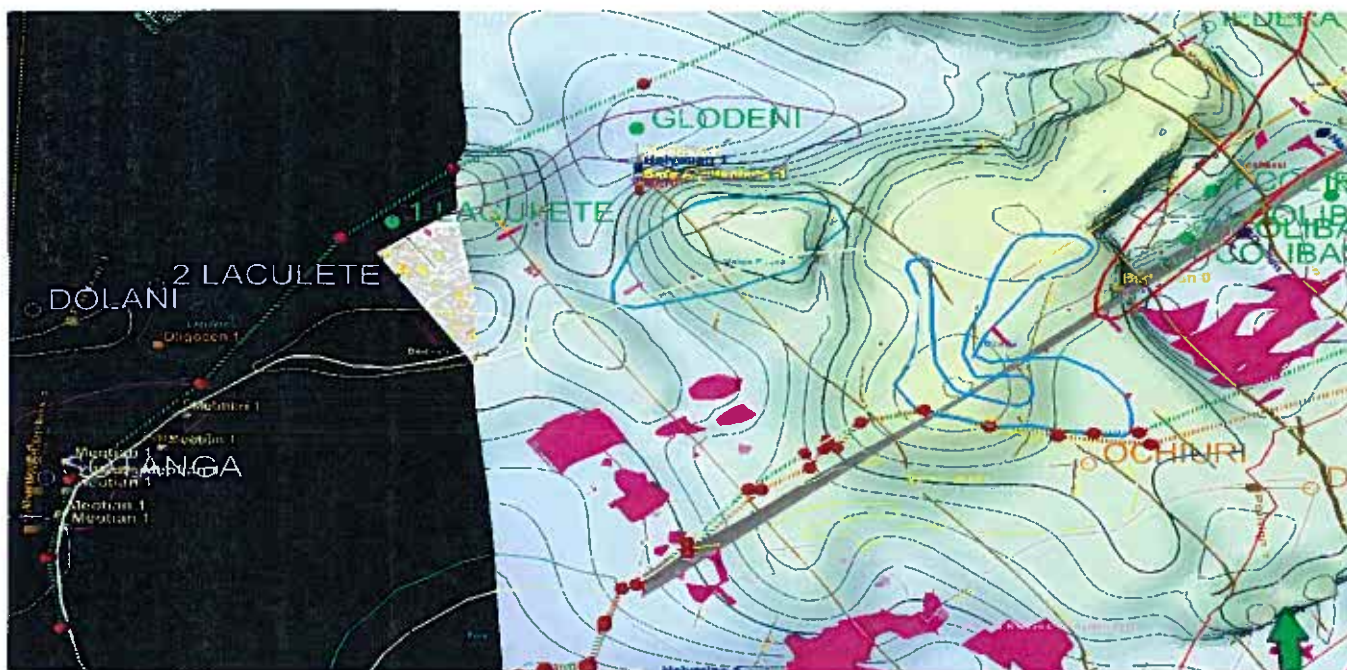
9. In cazul Zonei Cutelor Diapire s-a analizat și s-a identificat o amploare a intruziunilor salifere cuprinse în intervalul de timp 0-3500 ms (aproximativ 0-5250 m adâncime reală) și o opacitate care afectează 90% din datele din proba de tip celulă (box-probe), cu un intervalul de interes -intervalul determinat pentru formațiunea saliferă, interval care a rezultat în urma analizei a fi cuprins între 0 și 0.04 pe cubul seismic 3D integrat din cele 3 atribute realizate (Chaos+Dip+Envelope).



Deasemenea numărul limitat de geobodies care pot fi extrase (5), fiecare cu un număr limitat de geoblobs (250), care la rândul lor nu pot avea mai mulți voxeli de 10000 pentru a putea fi convertiți în puncte și apoi în obiecte 3D, precum și din cauza mărimii cubului seismic 3D (implicit a proiectului în Petrel în care s-a desfășurat analiza) nu a făcut posibil la acest moment modelarea intruziunilor salifere în Zona Cutelor Diapire pe baza corpurilor de sare (geobodies-urilor).



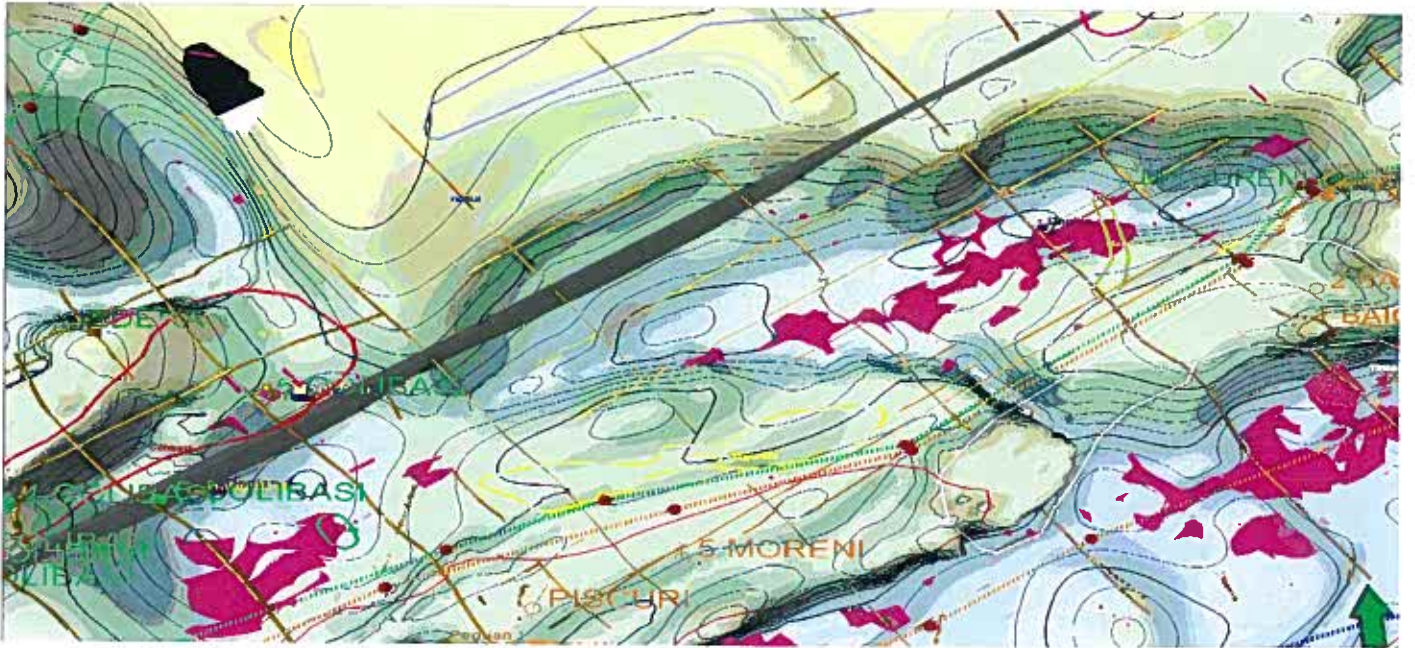
La nivelul Pontianului formațiunile salifere intrud zona Cutelor Diapire doar în zonele structurilor:
- Aninoasa;



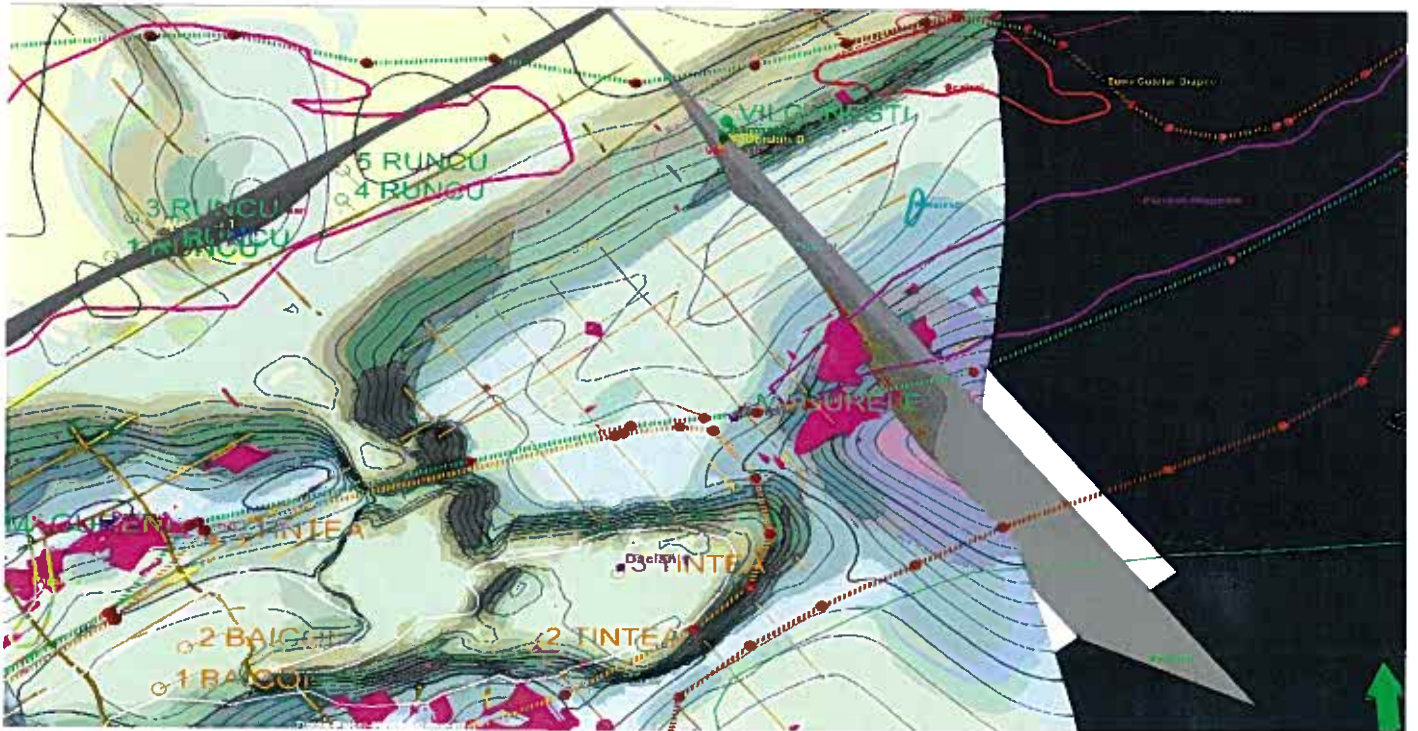
-Ocnița și Colibași



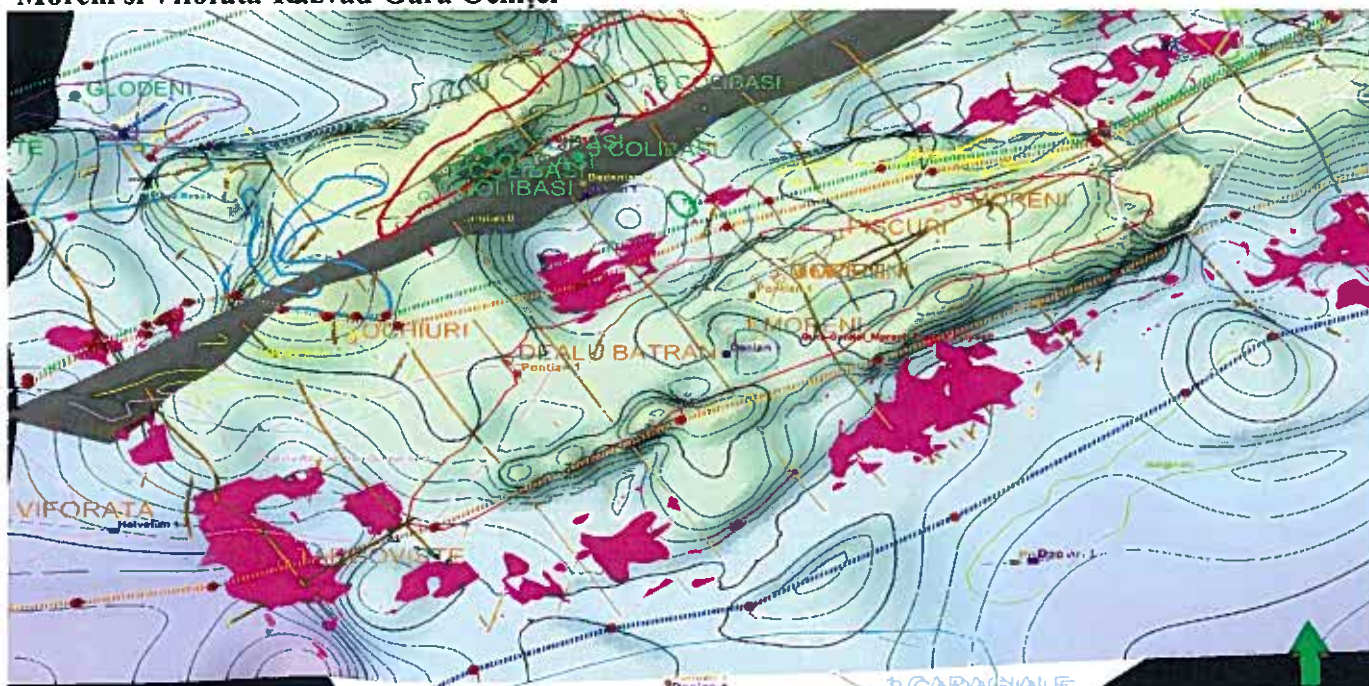
-Măgureni



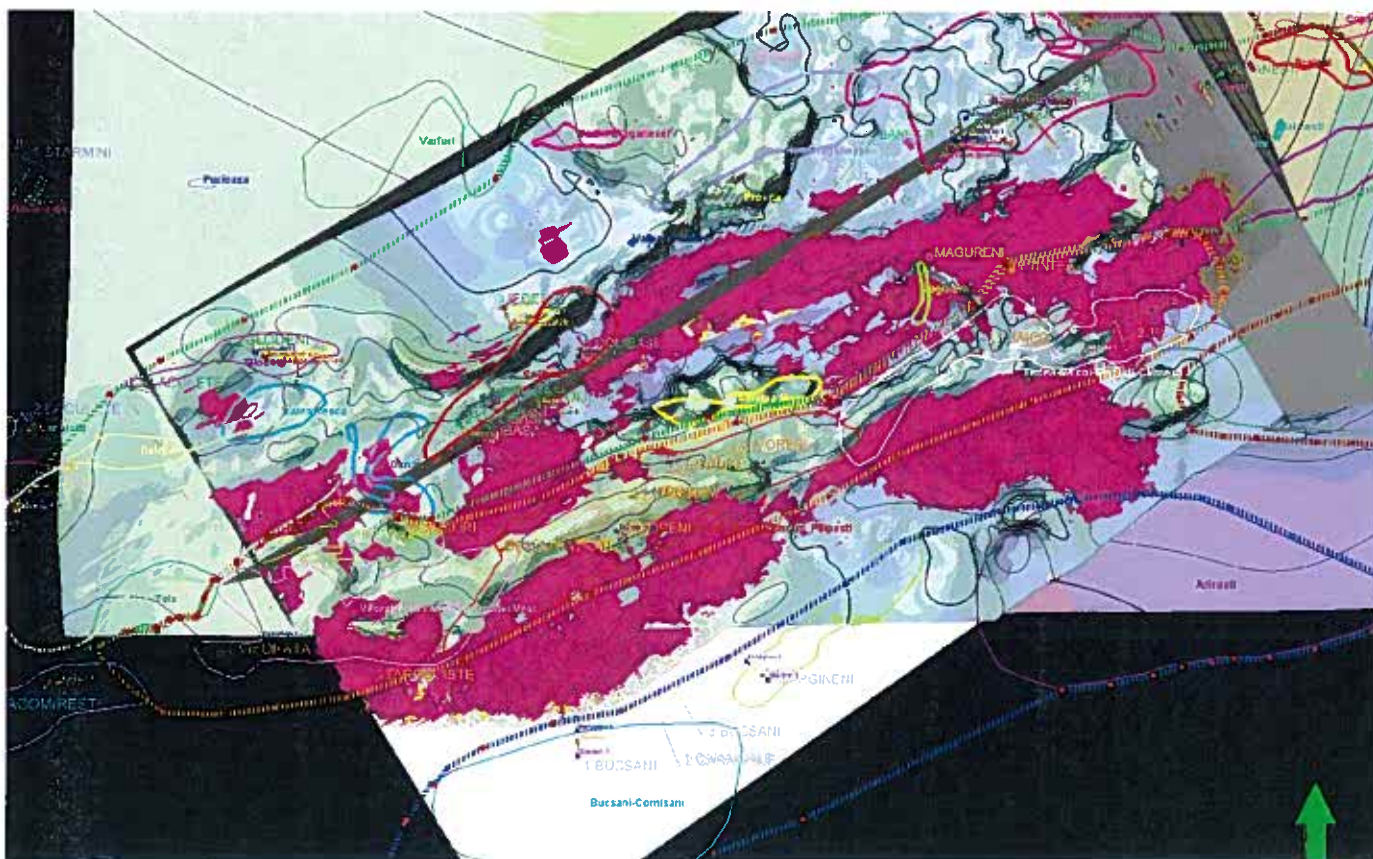
- Păcureți-Magurele



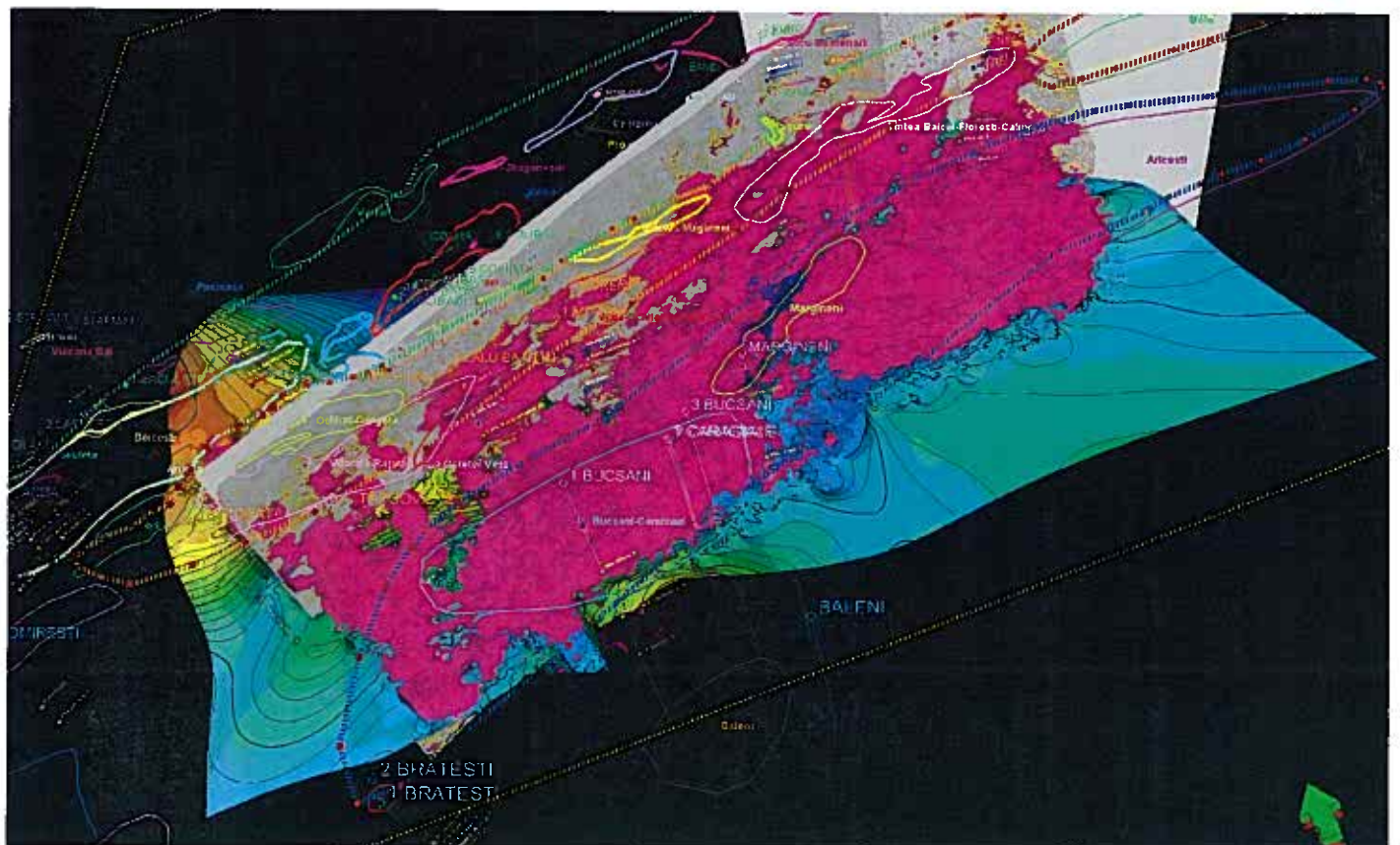
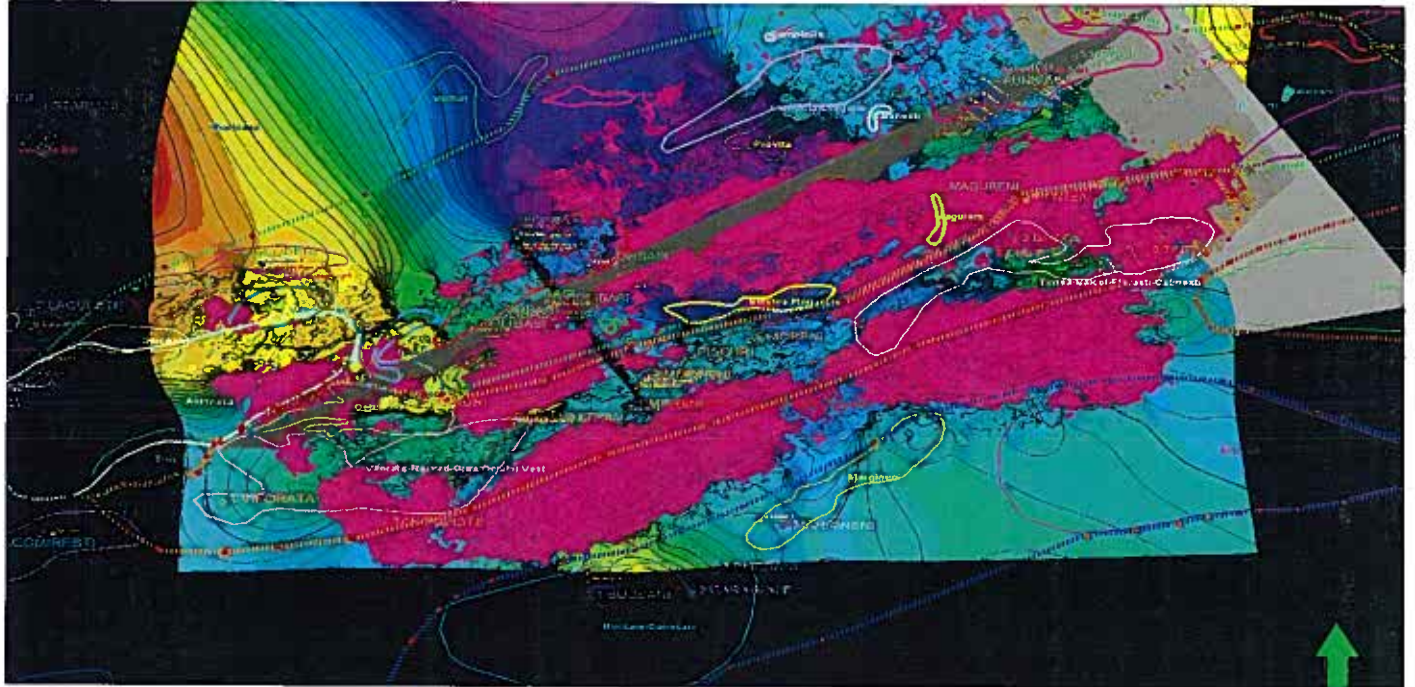
-Moreni si Viforâta-Răzvad-Gura Ocnitei

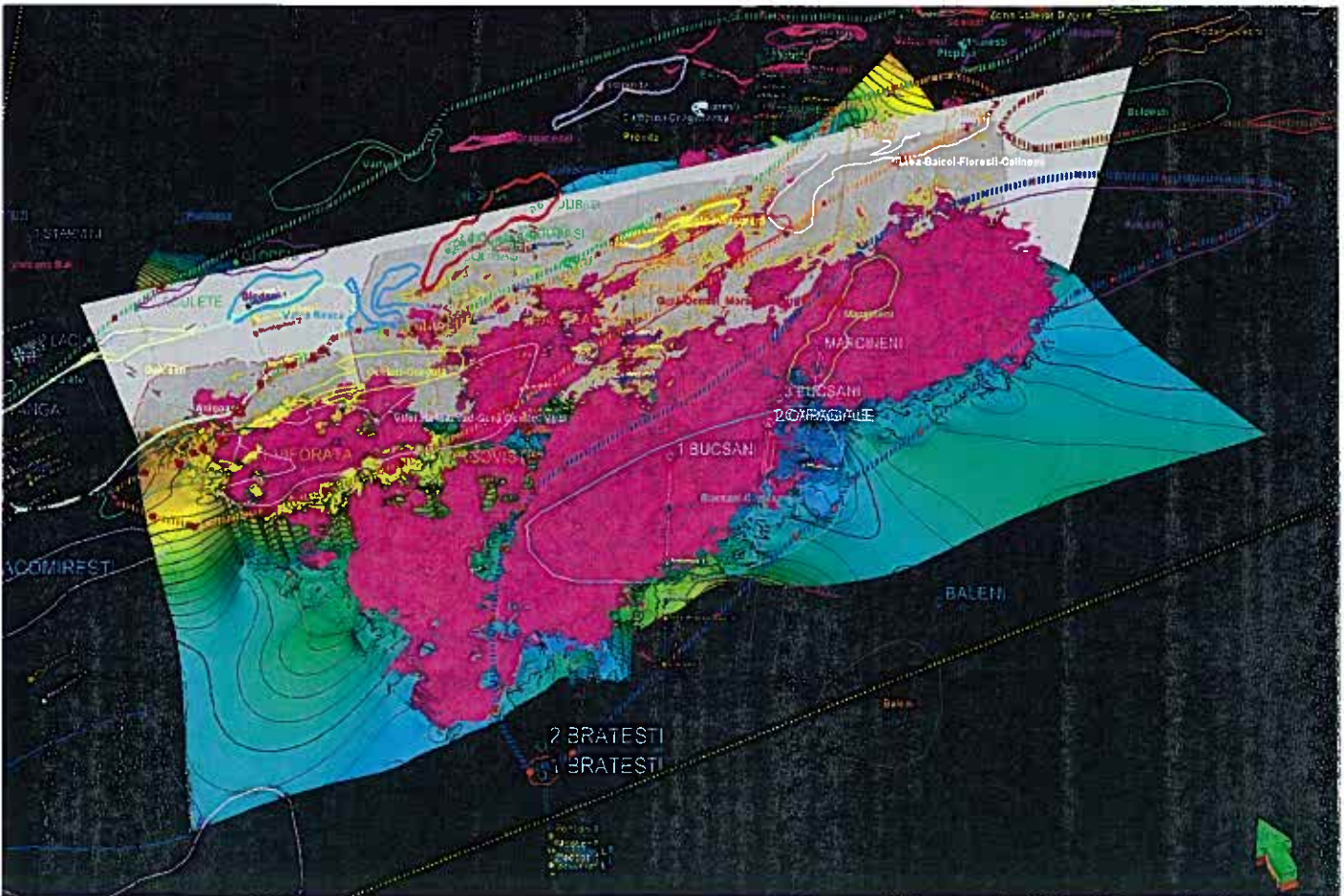
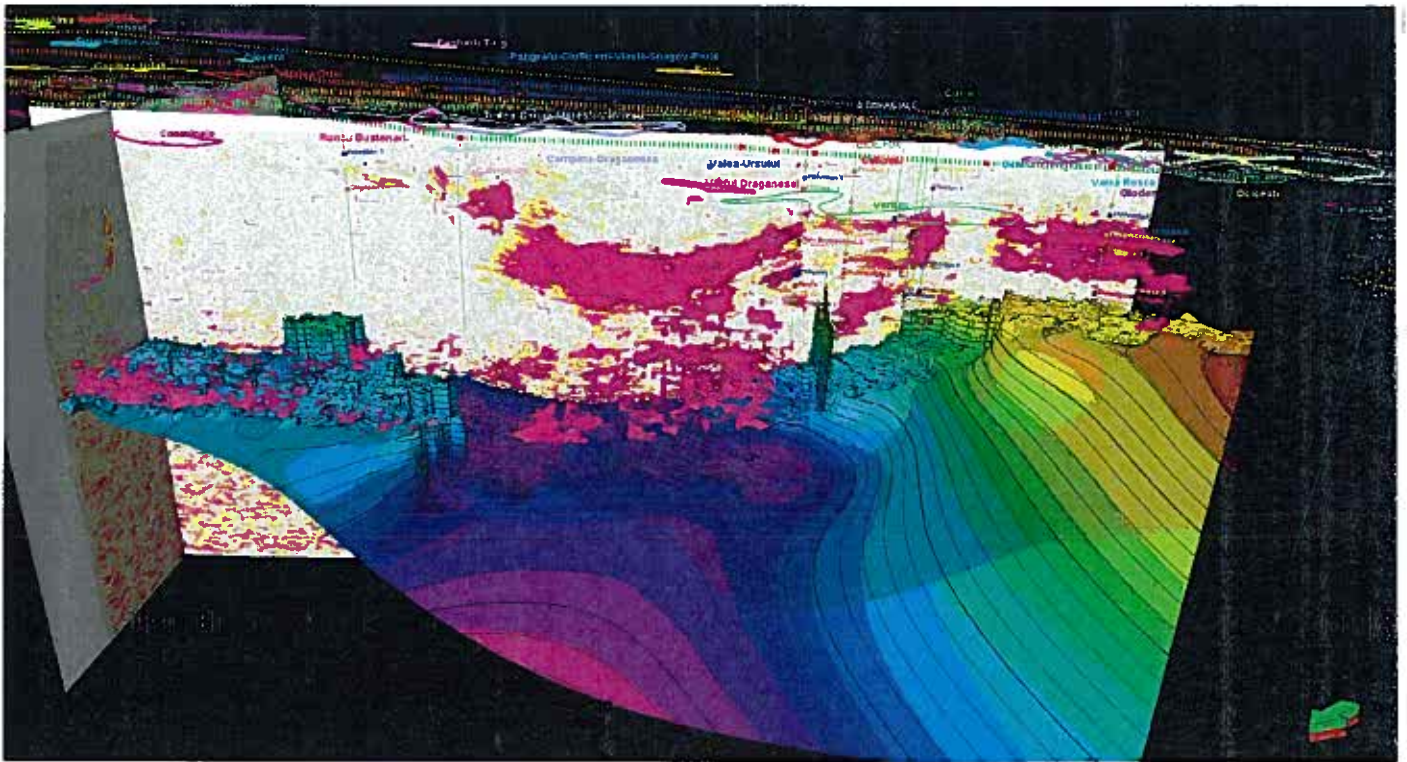


Meoșanul este intrus într-o mai mare măsură de depozitele salifere din cadrul Zonei Cutelor Diapire, după cum se poate observa din figura urmatoare:



Oligocenul de cele mai multe ori în zonă se constituie ca baza formațiunii salifere, după cum se poate observa în următoarele 4 figuri:





CONCLUZII:

- 1. Datele seismicii 3D au fost foarte greu de achiziționat și procesat în Zona Cutelor Diapire atât datorită prezenței formațiunilor salifere intruse aflate în diferite etape de diapirism, cât și datorită tectonicii complicate a zonei.**
- 2. Datele de viteză din sonde (existente doar 39 de sonde- date de timp provenite din check-shoturi și VSP-uri), nu oferă un control satisfăcător pentru o zonă atât de mare a datelor seismicii 2D și a celor 3D.**
- 3. Aplicarea algoritmului de interpretare a lui Aslop asupra atributelor seismice create pe baza cubului seismic 3D și care ulterior au fost integrate într-un singur cub, încurajează detalierea viitoare a analizei de identificare cu mai multă acuratețe a zonelor cu formațiune saliferă intrusă în formațiunile sedimentare acoperitoare din cadrul Zonei Cutelor Diapire (Sarmațian, Meoțian, Pontian și Dacian).**
- 4. Se observă din datele de viteze și din interpretarea carotajelor și a carotelor că formațiunea saliferă Aquitanian-Burdigalian inferioară este mai pură (viteze de 4000-4500 m/s , densități cuprinse între 2.1-2.2 kg/cm³), spre deosebire de formațiunile salifere badeniene (viteze mult mai mici 3700-4200 m/s și densități mult mai mari, atingând valori și de 2.24 kg/cm³), ceea ce conduce la ideea ca sarea din cadrul badenianului poate fi în parte recristalizată din sare burdigaliană datorită tectogenelor repetate din zonă. Dealtfel, valorile mari de densitate regăsite în formațiunea saliferă badeniană sunt mai mult caracteristice pentru un orizont cu breccia sării, decât pentru un orizont tip de sare.**
- 5. Achiziționarea, procesarea și interpretarea preliminară a seismicii de reflexie 3-D din Zona Cutelor Diapire deschide multe oportunități în înțelegerea distribuțiilor formațiunilor salifere, inferioară și superioară, în contextul general, precum și a raporturilor existente între acestea, putând constituind o informație prețioasă pentru o viitoare cercetare mult mai detaliată. Această cercetare poate fi probabil posibil de realizat cu ajutorul unei echipe integrate, care să poată analiza sinergetic rezultatele unei interpretării seismice a formațiunii salifere detaliate coroborate cu rezultatele altor tipuri de cercetări ce pot fi efectuate pe datele existente în zonă.**

