Compte rendu factuel de mesures

ULg/Projet « GeoTherWal »

Forage : B4

Campus de Sart Tilman

Imagerie de paroi acoustique

Document établi pour:

Université de Liège : ArGEnCO – GEO³
Service de Géomécanique et Géologie de l'Ingénieur
B-4000 LIEGE – SART TILMAN
Belgique

Document établi par:

LIM LOGGING sa
BP 48
L-4801 RODANGE
Luxembourg

Référence document: BE-13-007-112-R4 (v1.0/27.08.2013)

Table de matières

1 Introduction....3
2 Description des méthodes utilisées et résultats obtenus....5
2.1 Imagerie acoustique (probe BHTV)....5
2.1.1 Image du temps de transit BHTV (TT)....5
2.1.2 Image de l'amplitude BHTV (AMP)....5
2.1.3 Logs structuraux (StrA, StrC)....5
2.1.4 Déviation du forage (BHAZ, BHDEV)....6
2.1.5 Diamétreur acoustique (DIAC)....6
3 Résultats....7
3.1 Remarques générales....7
3.2 Diagraphies des formations (gamma naturel et diamétreur acoustique)....7
3.3 Imagerie acoustique et analyse structurale....8
3.4 Trajectométrie BHTV....9
4 Synthèse....10
5 Annexes....11
5.1 Annexe 1 – diagraphies des formations....12
5.2 Annexe 2 – imagerie acoustique avec pointé structural....13
5.3 Annexe 3 – analyse structurale....14
5.4 Annexe 4 – trajectométrie du forage....15
5.5 Annexe 5 – fiche technique....16

1 Introduction

Dans le cadre du projet de recherche « GeoTherWal », portant sur l'optimisation d'installations géothermiques de faible profondeur, quatre forages destructifs d'une centaine de mètres de profondeur, destinés à recevoir des sondes géothermiques couplées à une instrumentation de pointe, sont en cours de réalisation sur le campus de l'Université de Liège à Sart-Tilman.

Nous sommes intervenus sur site le 14.08.2013, afin d'effectuer des diagraphies d'imagerie des parois dans le quatrième (et dernier) forage de la série réalisée par la société OREX à la méthode MFT. Nos mesures avaient pour objectifs de mieux connaître les terrains rencontrés et leur contexte structural.

Ce rapport concerne le forage B4 d'une profondeur théorique de 103 m/sol et de diamètre, dans la partie en trou nu concernée par nos mesures, de 130 mm. Pour éviter que les terrains meubles superficiels ne tombent dans le forage, un tubage de protection en acier avait été installé entre – 0.70 m et 9.30 m.

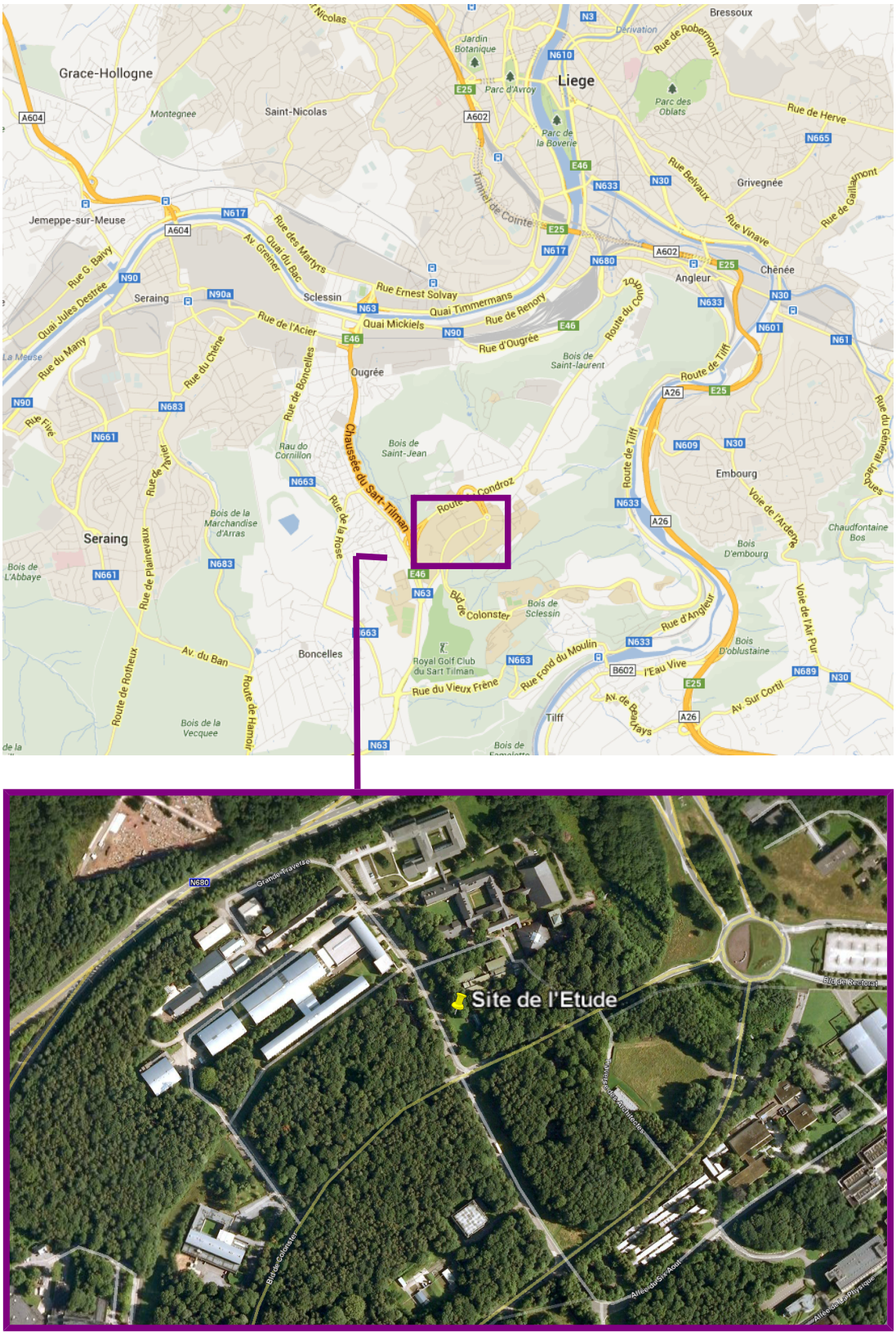
Compte tenu du manque de succès associé aux tentatives de réaliser des mesures avec la sonde optique OPTV lors de certaines de nos interventions précédentes, à cette occasion nous avons directement descendu la sonde acoustique BHTV en vue de faire une mesure par cette méthode en remontant depuis le fond du forage. La sonde s'est posée à la profondeur indiquée de 96.40 m et la mesure a pu être effectuée sans difficulté particulière entre cette cote et le niveau d'eau (10.80 m).

Dans ce rapport, nous présentons les résultats de l’imagerie acoustique, les autres résultats fournis par la sonde BHTV (log gamma-ray, traitement diamétreur acoustique, trajectométrie), ainsi que l'analyse structurale réalisée sur base des données d'imagerie.

L'ensemble de ces résultats se trouve en annexe (Annexes 1 à 4).

Les résultats sont également fournis sous forme de fichiers(WCL/XLS/PDF) sur le CDROM accompagnant ce document.

La fiche technique relative au dispositif utilisé se trouve également en annexe (Annexe 5).



Référence docume

Figure 1: Localisation du site de l'étude (données cartographiques © Google)

2 Description des méthodes utilisées et résultats obtenus

2.1 Imagerie acoustique (probe BHTV)

2.1.1 Image du temps de transit BHTV (TT)

Cette image, orientée par rapport au Nord magnétique, présente les valeurs du temps de transit BHTV transformées en une échelle de couleurs où les zones sombres (bleu foncé) représentent des valeurs relativement faibles (temps de transit courts) et les zones claires (jaune) des valeurs plus élevées (temps de transit plus importants). L'image est restituée à partir des 180 valeurs obtenues pendant chaque rotation du capteur acoustique dont la sonde est munie. La valeur enregistrée à chaque émission correspond au délai de l'écho le plus fort reçu par la sonde pendant la période d'acquisition sélectionnée par l'opérateur sur le terrain en fonction des paramètres du forage. La correspondance entre couleur et temps de transit peut néanmoins varier d'un log à un autre puisque les échelles sont choisies pour maximiser le détail et accommoder les variations de diamètre présentées par le forage.

2.1.2 Image de l'amplitude BHTV (AMP)

Comme décrit dans le paragraphe précédent, le signal enregistré dans la sonde après chaque émission acoustique fait l'objet d'une analyse afin de déterminer l'amplitude et le temps de transit du plus fort écho arrivant sur le capteur. Dans des conditions normales, cet écho sera celui revenant après réflexion sur la paroi du forage. Les valeurs de l'amplitude BHTV sont exprimées sous forme d'une échelle de couleurs où les zones sombres (bleu foncé) représentent les échos les plus faibles (terrains peu compacts, fractures, cavités…) et les zones claires (jaune) les amplitudes plus fortes (terrains compacts). Le rapport entre amplitude et couleur est variable et dépend de la qualité globale du signal reçu.

2.1.3 Logs structuraux (StrA, StrC)

Par un processus semi-automatique, les plans structuraux figurant sur l'imagerie sont pointés, afin de déterminer leurs pendages et azimuts, et classés dans une catégorie qui leur est attribuée par la personne réalisant l'interprétation. Sur le graphique, ces plans sont représentés sous deux formes différentes :

- sous forme de sinusoïdes reportées sur l'image amplitude (log StrA) ;
- sous forme de têtards (log StrC).

Afin que les sinusoïdes soient superposées correctement sur l'image amplitude, leur orientation n'est pas corrigée par la déviation du forage. Par contre, dans le cas des têtards, cette correction a été apportée aux données. La « queue » du têtard indique la direction de pendage du plan concerné, alors que son pendage peut-être lu en se référant à la grille verticale du log.

2.1.4 Déviation du forage (BHAZ, BHDEV)

Au moyen d'un ensemble magnétomètres/inclinomètres performants, la sonde BHTV est capable de déterminer son orientation à tout moment par rapport au champ magnétique et gravitationnel terrestre. Ces données sont transmises à la surface en parallèle avec les images et servent à orienter celles-ci, ainsi qu'à déterminer la trajectoire du forage.

La trajectoire du forage est recalculée à partir des données de déviation et d'azimut fournies par le BHTV, après un filtrage du type ''moyenne glissante'' sur une fenêtre de 10 centimètres. Pour chaque tranche de 10 centimètres, le déplacement résultant en X, Y et Z est calculé. Ces données sont alors intégrées en fonction de la longueur du forage afin d'obtenir sa trajectoire.

2.1.5 Diamétreur acoustique (DIAC)

En se basant sur les temps de transit fournis par le BHTV, on calcul le rayon du forage à partir de 90 valeurs (aux azimuts 0°, 4°, 8° etc.). Normalement, une zone tubée en eau est utilisée pour calculer la vitesse de propagation acoustique dans le fluide. Cette valeur est alors utilisée pour estimer les variations de diamètre dans la partie ouverte du forage.

Des paires de rayons opposés (0°/180°, 4°/184°) sont additionnées afin d'obtenir 45 valeurs pour le diamètre du forage.

Sur le rapport, trois courbes sont présentées correspondant, respectivement, à la valeur minimale (DIAC-MIN), moyenne (DIAC-AVE) et maximale (DIAC-MAX) de diamètre ainsi calculées, à un pas vertical de 1 cm.

3 Résultats

3.1 Remarques générales

Toute cote ou « profondeur » figurant dans ce rapport représente une longueur mesurée à partir de la référence du foreur, sans tenir compte de la déviation du forage.

Nous ne disposions pas d'une description des cuttings lors de la rédaction de ce rapport. Les interprétations lithologiques de nos mesures ont été établies avec l'aide d'un document émanant du Service « Aquapôle » de L'Ulg.[1]

3.2 Diagraphies des formations (gamma naturel et diamétreur acoustique)

Les résultats de ces mesures nous ont permis de définir les unités suivantes :

Unité	Intervalle		Description/remarques
	de(m)	à(m)	
Z	0.00 ?	13.50	Ce niveau de faible activité gamma a été masqué dans les forages précédents par les tubages aciers de protection. Il serait constitué vraisemblablement de grès ou quartzite.
A	13.50	28.00	Pour la plupart de l'intervalle, l'activité gamma indique des terrains plutôt schisteux/marneux (valeur moyenne 100 cps). La compacité des terrains est modérée à faible. Seul entre 18 m et 22 m le diamètre du forage reste-t-il proche à celui de l'outil de forage.
B	28.00	30.00	Niveau à activité gamma relativement faible et très peu compact – grès ou quartzite fracturé/broyé ? Notons la présence de caves/vides importantes (DIAC-MAX > 200 mm).
C	30.00	34.20	L'activité gamma est de nouveau plus élevé (100 cps) impliquant un changement vers une faciès plutôt schisteux ou marneux. Cette transition ne change pourtant rien au niveau de la compacité des terrains – le diamètre du forage reste très variable.
D	34.20	44.10	Les valeurs du gamma-ray chutent (+/- 70 cps) et, en même temps, les terrains, à priori gréseux, deviennent nettement plus compacts.

1 Projet « Flash Flood » - Rapport Final – Septembre 2009.

Unité	Intervalle		Description/remarques
	de(m)	à(m)	
E	44.10	69.20	A partir d'ici, la corrélation avec les autres forages est plus facile à établir. Le signal gamma, alors qu'assez variable, maintient un niveau moyen suggérant de terrains schisteux dans l'ensemble (100 cps). Des passes sableuses/gréseuses ou quartzitiques apparaissent de manière régulière (43 à 47 m, 57 à 59 m ...). Dans l'ensemble, le diamètre du forage reste assez proche de celui de l'outil de forage. Quelques passages plus fracturés/fissurés sont néanmoins présents (44 à 48 m, 53 à 57 m, vers 63 m).
F	69.20	86.50	Les valeurs gamma-ray baissent (+/- 70 cps) au contact supérieur de cet intervalle, correspondant à une diminution de la fraction argileuse ou schisteuse des terrains. Superposés sur un contexte de valeurs décroissant en fonction la profondeur, deux niveaux schisteux provoquent une hausse de l'activité entre 71 et 73 m, ainsi qu'entre 77.6 et 79.6 m. Dans la partie basse de l'unité, les valeurs affichées sont comprises entre 40 et 60 cps et caractérisent, à priori, des terrains gréseux ou quartzitiques. Ces terrains semble être assez compacts dans l'ensemble. Un niveau plus fracturé est visible vers la bas de l'unité (entre 81 m et 85 m).
G	86.50	96.40	Une hausse brusque des valeurs gamma-ray (120 cps) permet de délimiter le contact supérieur de cette unité schisteuse. Le diamètre calculé à partir des résultats BHTV est assez régulier et, sauf pour une fracture localisée vers 91 m de profondeur, proche de celui de l'outil de forage : les terrains sont compacts.

3.3 Imagerie acoustique et analyse structurale

Compte tenu de la méthode de forage choisie (MFT), les images obtenues dans ce forage sont d'une qualité raisonnable. Malheureusement, en raison de son « agressivité », cette méthode produit une paroi rugueuse et irrégulière, ce qui entraîne une perte d'informations plus ou moins importante en fonction de la nature des terrains rencontrés .

Un total de 417 plans structuraux ont pu être repérés sur les images, ce qui représente un nombre moyen de presque 5 exemples par mètre d'enregistrement.

La répartition de ce total en fonction des trois familles principales est la suivante :

- fractures et élargissements : 241 plans (58%) ;

- plans de stratification et contacts lithologiques : 75 (18%) ;
- plans incomplets ou indéterminés : 101 (24%).

Les résultats de l'analyse structurale réalisée sur base des images BHTV sont présentées sous forme d'une graphique récapitulative dans l'annexe 3.

Ce forage s'inscrit, bien logiquement, dans le même cadre structural que les autres forages étudiés sur le site. En termes de direction de pendage, la plus grande population en termes de fractures/élargissements et plans stratigraphies correspond, de nouveau, au secteur entre N130° et N170°. Cette tendance est particulièrement évidente pour les plans stratigraphiques/contacts lithologiques. Proportionnellement, pour les autres classes, les directions sont quelque peu (en ce qui concerne les fractures), voire beaucoup (incomplète/indéterminé) plus répandues.

Les pendages des plans stratigraphiques se situent quasi-exclusivement dans la fourchette de 40° à 70°/vertical. Des pendages plus fortes (de 80° à la sub-verticale) peuvent être observées dans les cas des familles fractures/élargissements et incomplets/indéterminés.

L'intervalle compris entre 60 m et 80 m présente une fréquence quelque peu plus faible que la moyenne en ce qui concerne la fracturation (<25 exemples par décamètre). Ailleurs, les valeurs sont généralement supérieures à 30 exemples/décamètre.

3.4 Trajectométrie BHTV

L'inclinaison du forage augmente assez progressivement en fonction de la profondeur pour atteindre +/- 12.5° à la fin de la mesure.

Dans la partie supérieure du forage (de 0 à 40 m, environ) l'azimut mesuré varie entre N295° et N330°, mais la passage de la sonde a sans doute été perturbé sur cet intervalle qui présente un diamètre très irrégulier. A partir de 40 m, l'azimut se stabilise sur une valeur de +/- N320° et ne varie que très peu sur le reste de la longueur forée (cf Annexe 4).

Les écarts relatifs à l'origine, calculés à 96.4 m de profondeur, sont de 6.49 m vers l'Ouest et 7.32 m vers le Nord.[2]

2 Sur la partie non-mesurée du forage nous avons attribué un azimut constant correspondant aux premières bonnes valeurs obtenues par la sonde (N300°) et une inclinaison augmentant de manière linéaire de 0° à la valeur mesurée à l'entrée dans le tubage.

4 Synthèse

Sur l'intervalle ausculté, le forage traverse une série montrant une alternance de terrains gréseux et schisteux, dont le degré de compacité s'avère assez variable. De nouveau, la partie supérieure du forage renferme une zone à vides/cavités impressionnantes : celle-ci s'étend de 22 m à 34 m, environ. Par contre, les terrains présents entre 58 m et 82 m ont subi beaucoup moins de fracturation.

Les résultats de la mesure gamma-ray permettent une corrélation généralement facile avec les autres forages de l'étude. L'exception à cette règle étant l'intervalle concerné par les unités que nous avons dénommées C&D : dans tous le forages étudiés cette zone semble présenter plus de variation en termes de composition lithologique.

De nouveau, du point de vue structural, le Sud-Est est de loin la direction de pendage dominante pour les plans de type fracture/élargissement et stratigraphique. Ces deux familles présentent également des angles de pendage principaux semblables de l'ordre de 40° à 60°/horizontal.

Le forage atteint graduellement 12.5° d'inclinaison par rapport à la verticale. Comme il s'aligne perpendiculairement à la direction de pendage des couches dès le départ, son azimut ne varie pas de manière importante en fonction de la profondeur et reste dans la fourchette N300° à N320°.

Martin DRAKE

LIM Logging sa

v1.0/28.08.2013

5 Annexes

5.1 Annexe 1 – diagraphies des formations

CAL/GR/DEVIATION LOG

CLIENT : ULg

PROJECT : Reconnaissances géothermiques
Site de Sart-Tilman

BOREHOLE : B-4

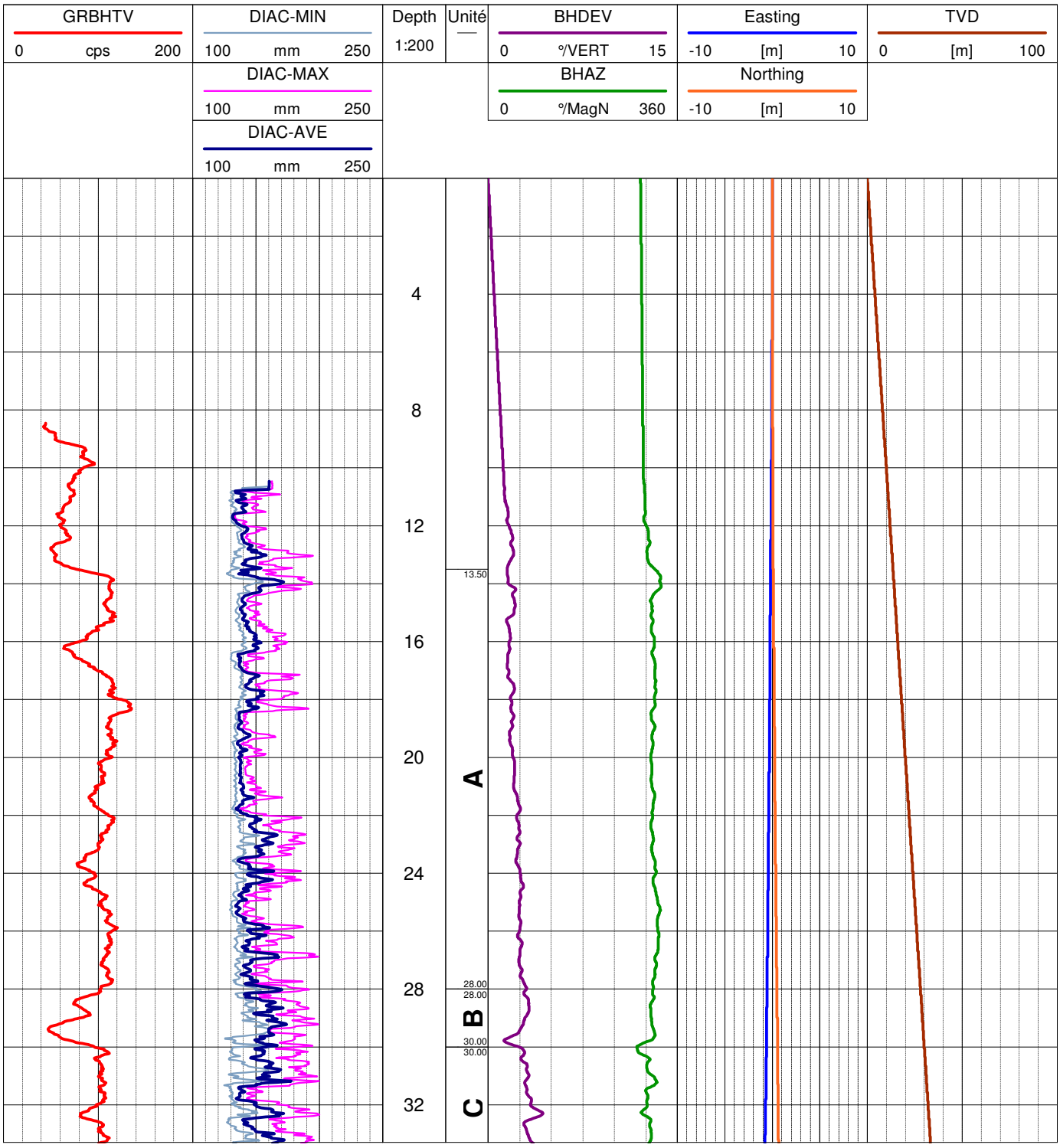
Orientation:	*Vertical*	*Top depth:*	*0 m*
X:	*?*	*Bottom depth:*	*96.44 m*
Y:	*?*	*Interval:*	*96.44 m*
Z:	*?*		

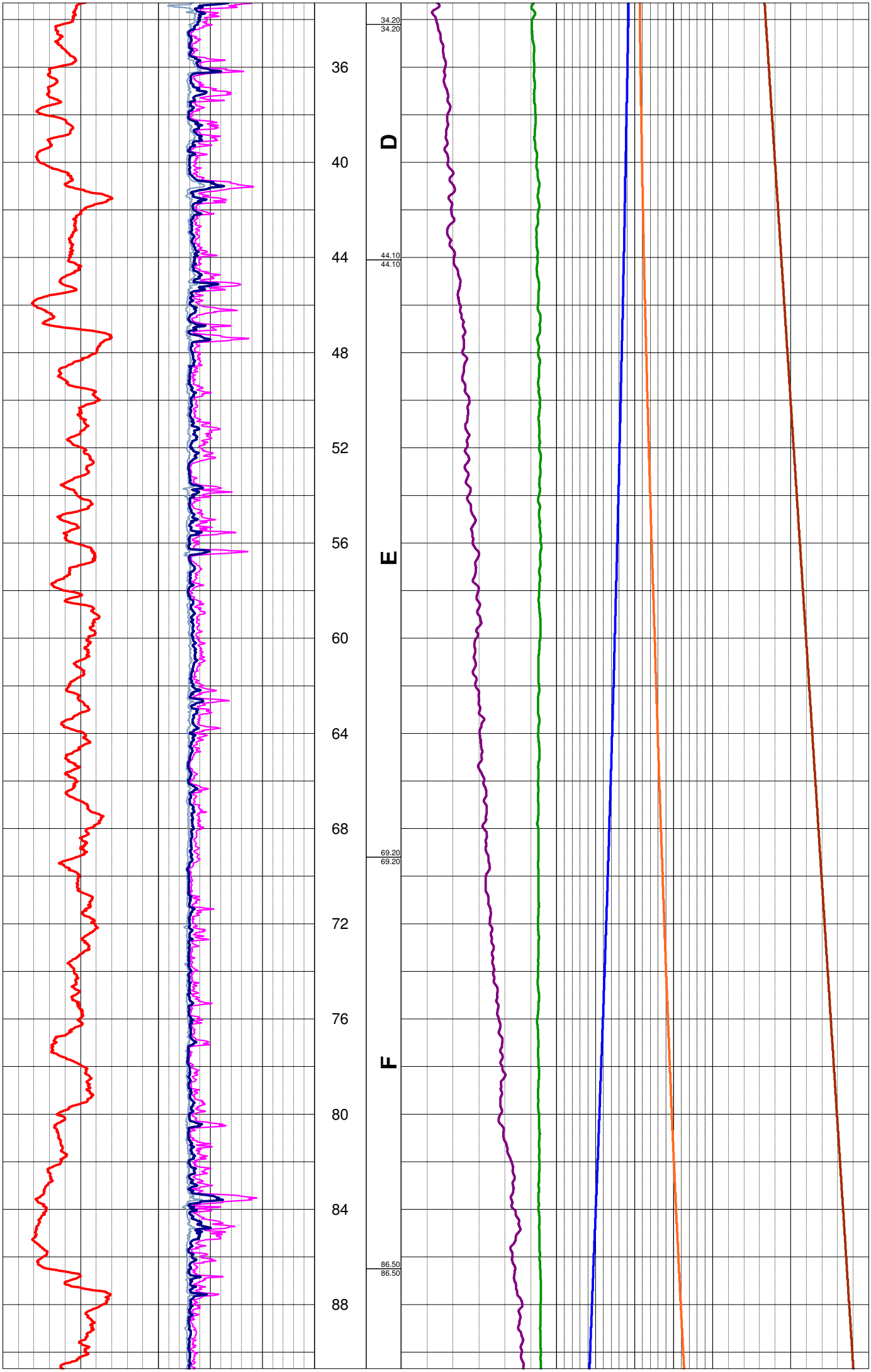
DATE : 14.08.13 **LOGGER:** MD

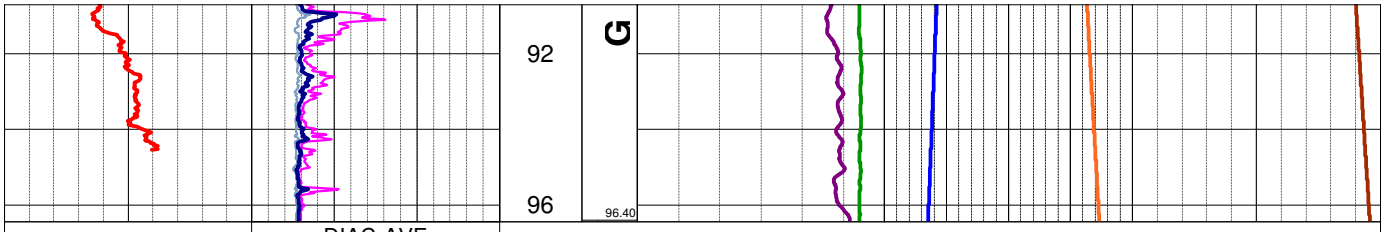
DATUM: GL **ASSISTANT:** TM

Log Identifiers

GRBHTV(cps) : natural gamma radioactivity
DIAC(mm) : borehole diameter from BHTV travel time
BHAZ(°/MagN): borehole azimuth (ref. Mag North)
BHDEV(°/VERT): borehole deviation (0°=vertical)
EASTING(m) : calculated E-W displacement(+ve to E)
NORTHING(m): calculated N-S displacement (+ve to N)
TVD(m) : calculated true vertical depth




34.20
34.20
36
40
44.10
44.10
44
48
52
56
60
64
68
69.20
69.20
72
76
80
84
86.50
86.50
88
D
E
F



	DIAC-AVE					
	100 mm 250					
	DIAC-MAX			BHAZ	Northing	
	100 mm 250			0 °/MagN 360	-10 [m] 10	
GRBHTV	DIAC-MIN	Depth	Unité	BHDEV	Easting	TVD
0 cps 200	100 mm 250	1:200	—	0 °/VERT 15	-10 [m] 10	0 [m] 100

5.2 Annexe 2 – imagerie acoustique avec pointé structural

ACOUSTIC TELEVIEWER LOG

CLIENT : **ULg**

PROJECT : **Reconnaissances géothermiques Site de Sart-Tilman**

BOREHOLE : **B-4**

Orientation:	*vertical*	*Top depth:*	*10.46 m*
X:	*?*	*Bottom depth:*	*96.44 m*
Y:	*?*	*Interval:*	*85.98 m*
Z:	*?*		

DATE : 14/08/2013 **LOGGER:** MD

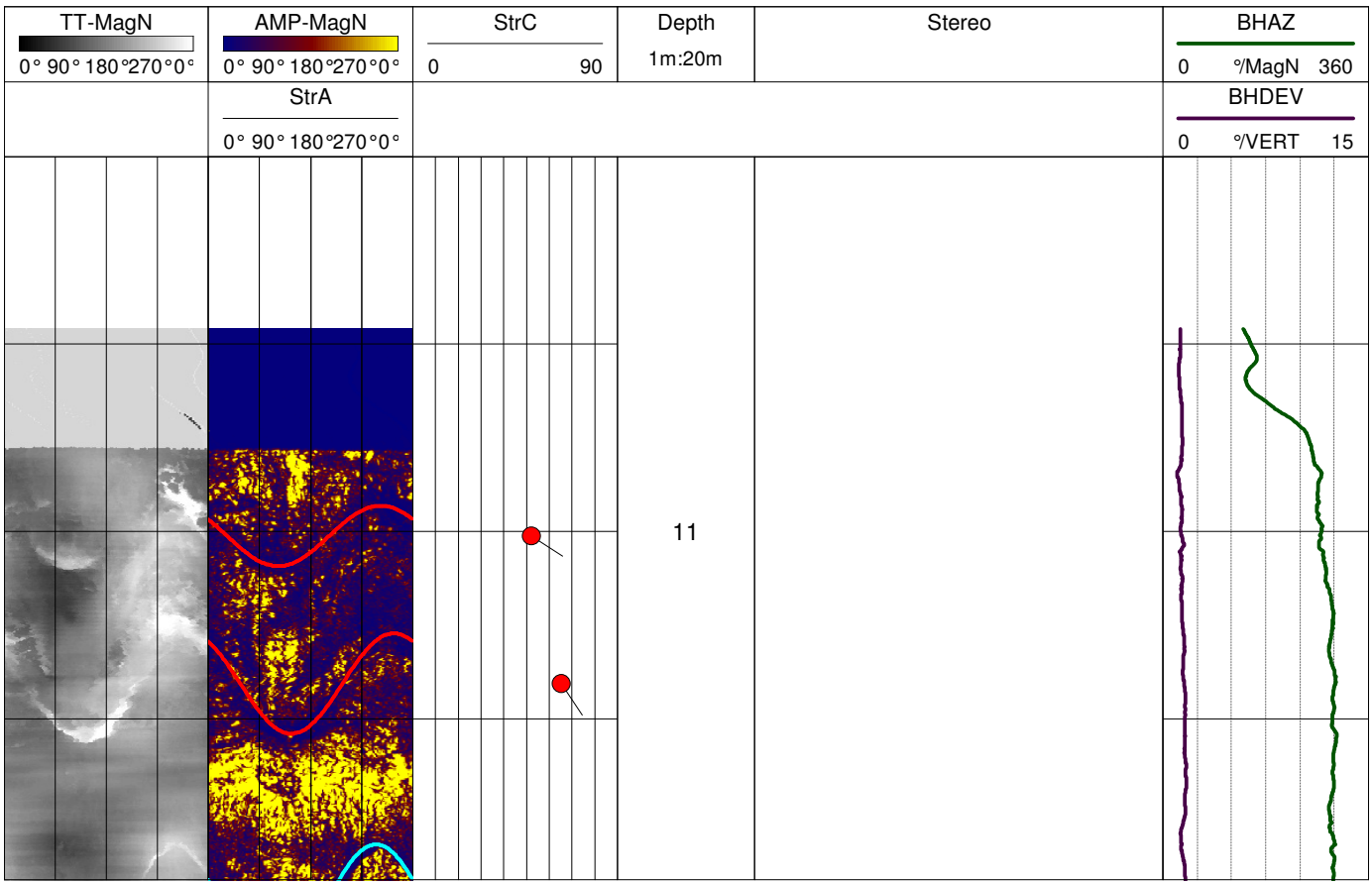
DATUM: GL **ASSISTANT:** TM

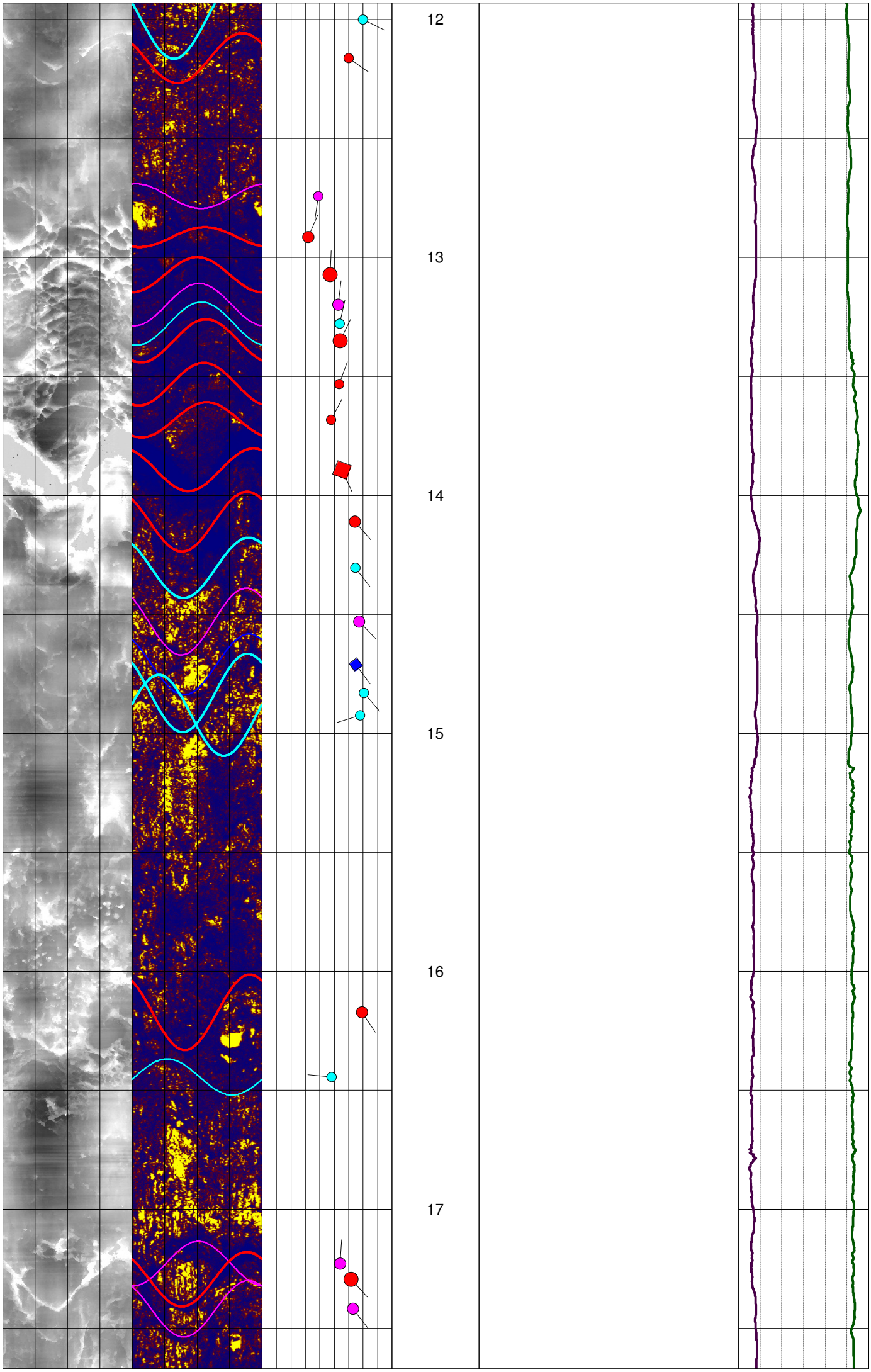
Log Identifiers

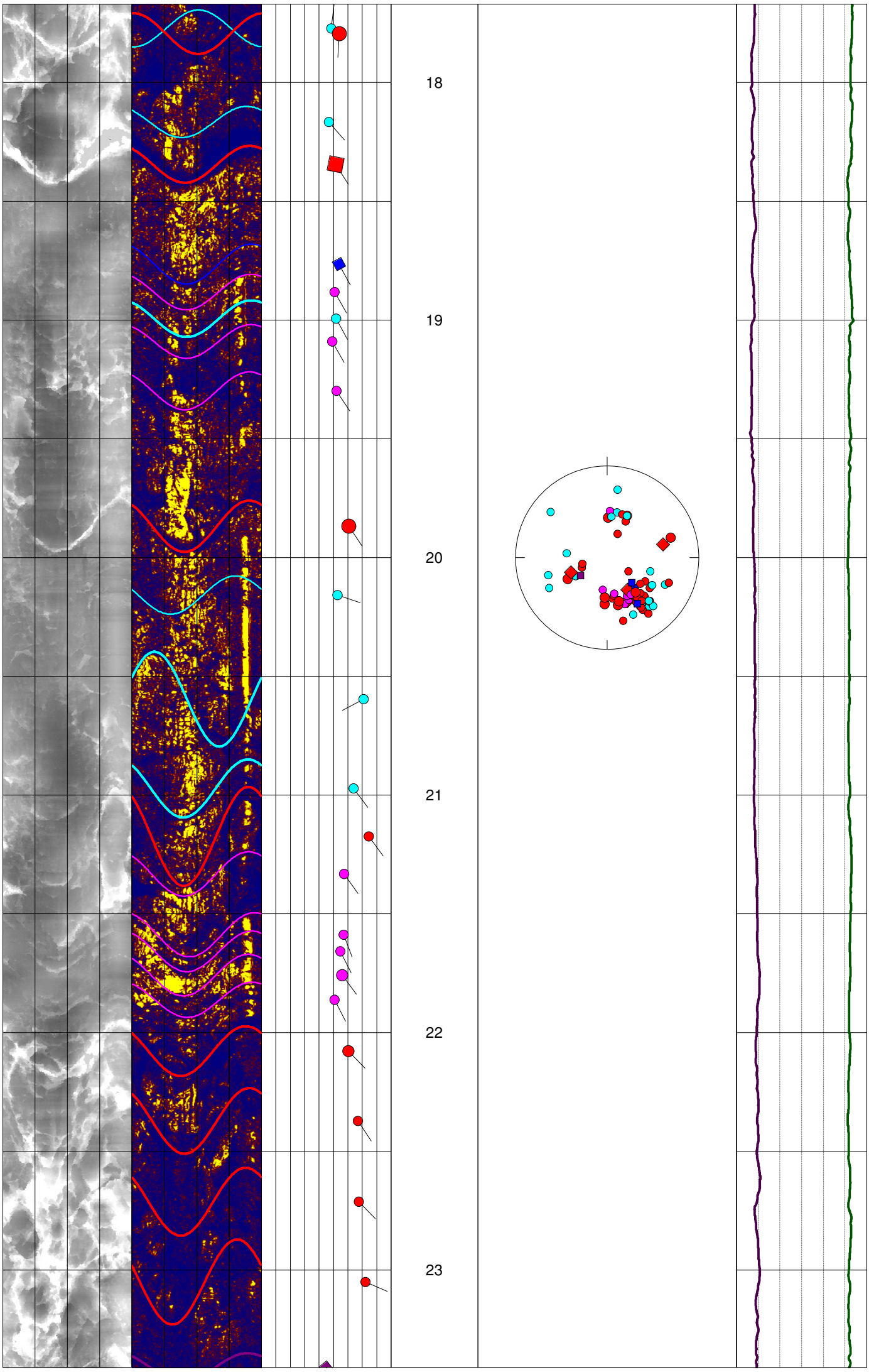
TT-MagN	*: orientated acoustic travel time image (ref. Mag North)*
AMP-MagN	*: orientated acoustic amplitude image (ref. Mag North)*
StrA	*: structures (uncorrected)*
StrC	*: structures (corrected for borehole direction)*
Stereo	*: polar plot, Wulff projection, upper hemisphere*
BHAZ(°)	*: borehole azimuth (ref. Mag North)*
BHDEV(°)	*: borehole deviation (0°=vertical)*

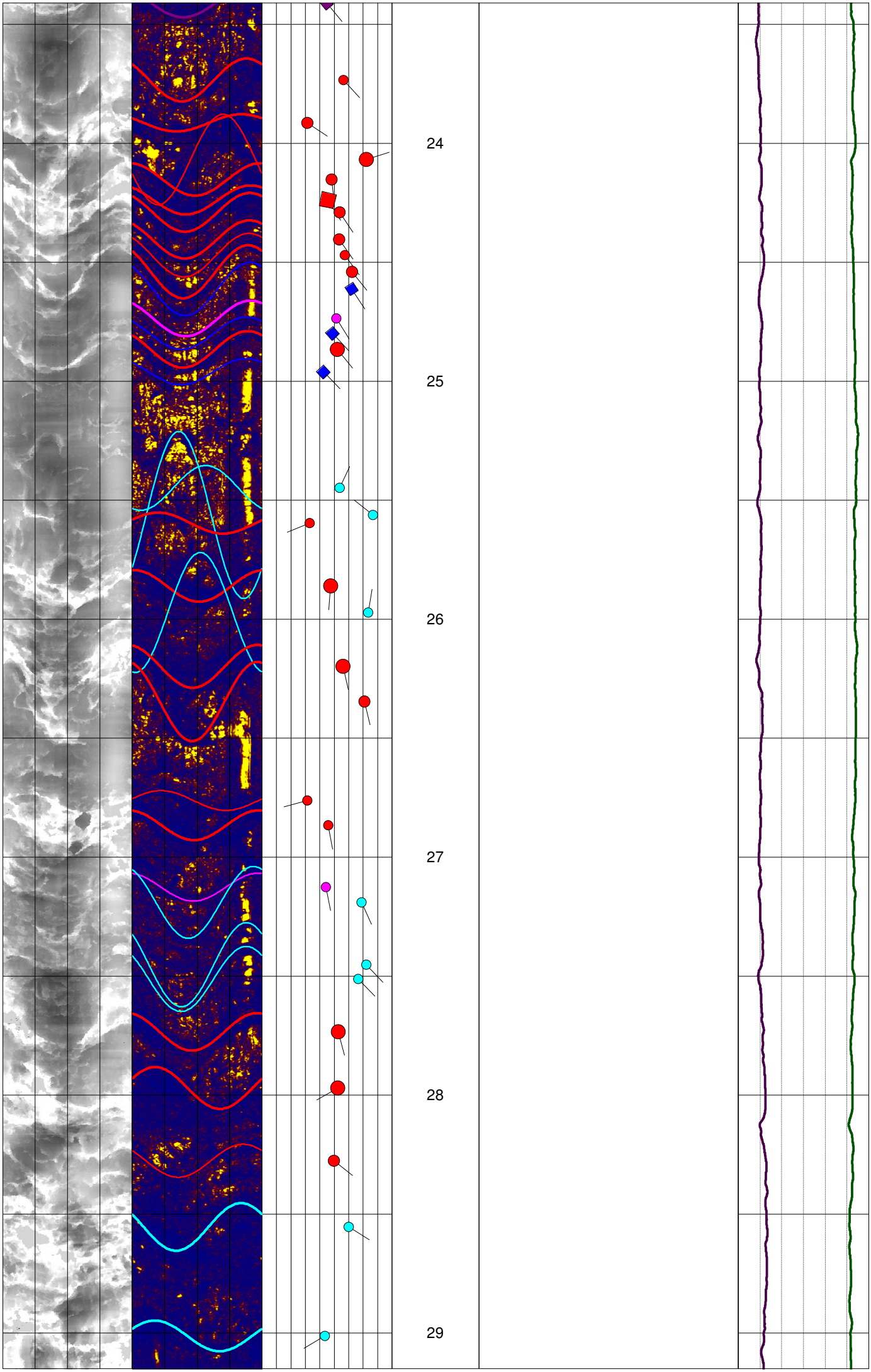
Types de structures :

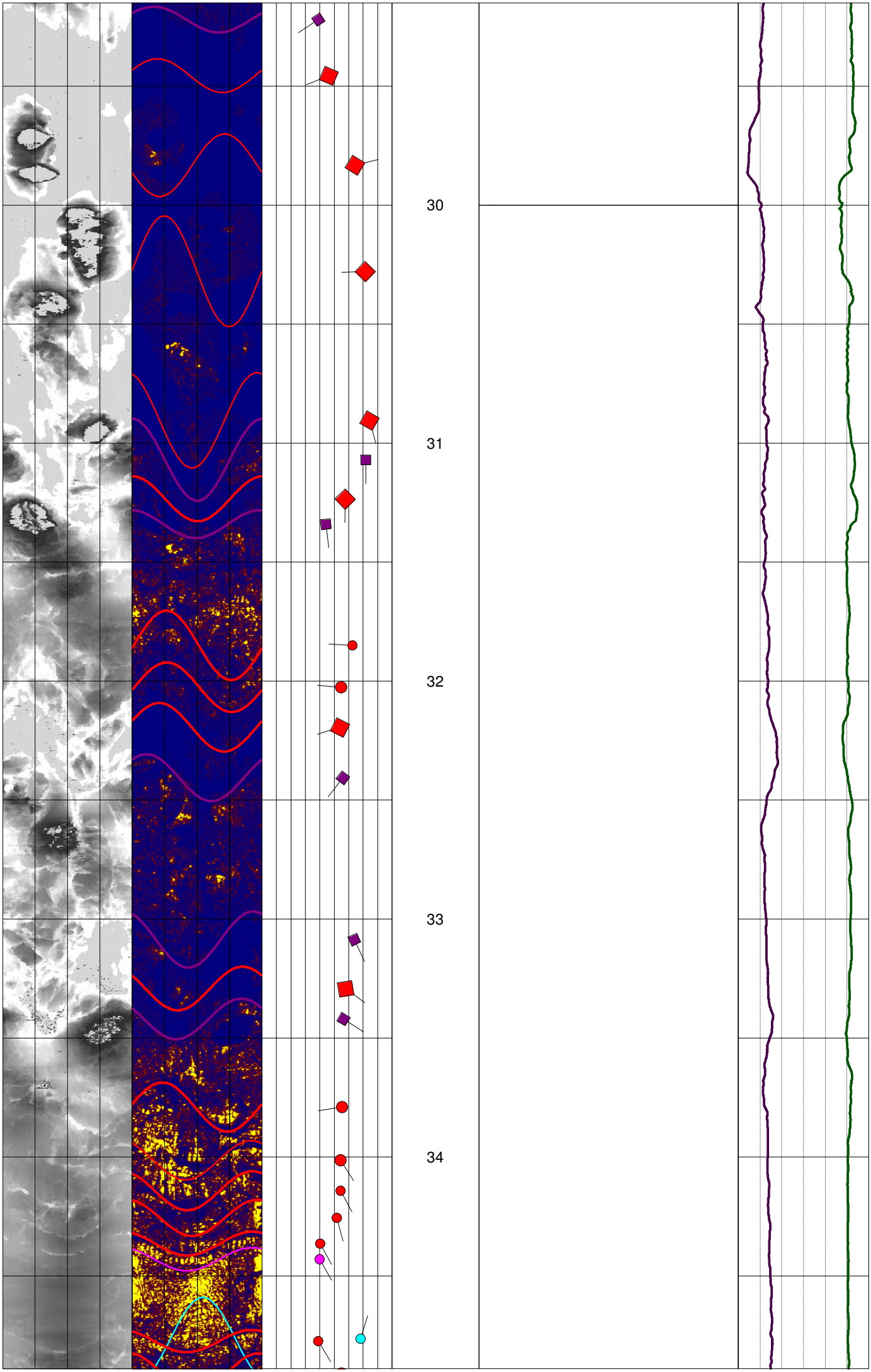
- Fracture ouverte < 2cm
- Fracture 2cm < ouverture < 5cm
- Fracture 5cm < ouverture < 10cm
- Fracture ouverte > 10cm
- Elargissement/Fracture avec remplissage épaisseur <2cm
- Elargissement/Fracture avec remplissage 2cm < épaisseur< 5cm
- Elargissement/Fracture avec remplissage 5cm < épaisseur < 10cm
- Elargissement/Fracture avec remplissage épaisseur > 10cm
- Stratification/Foliation
- Incomplète/indeterminé
- Contact lithologique

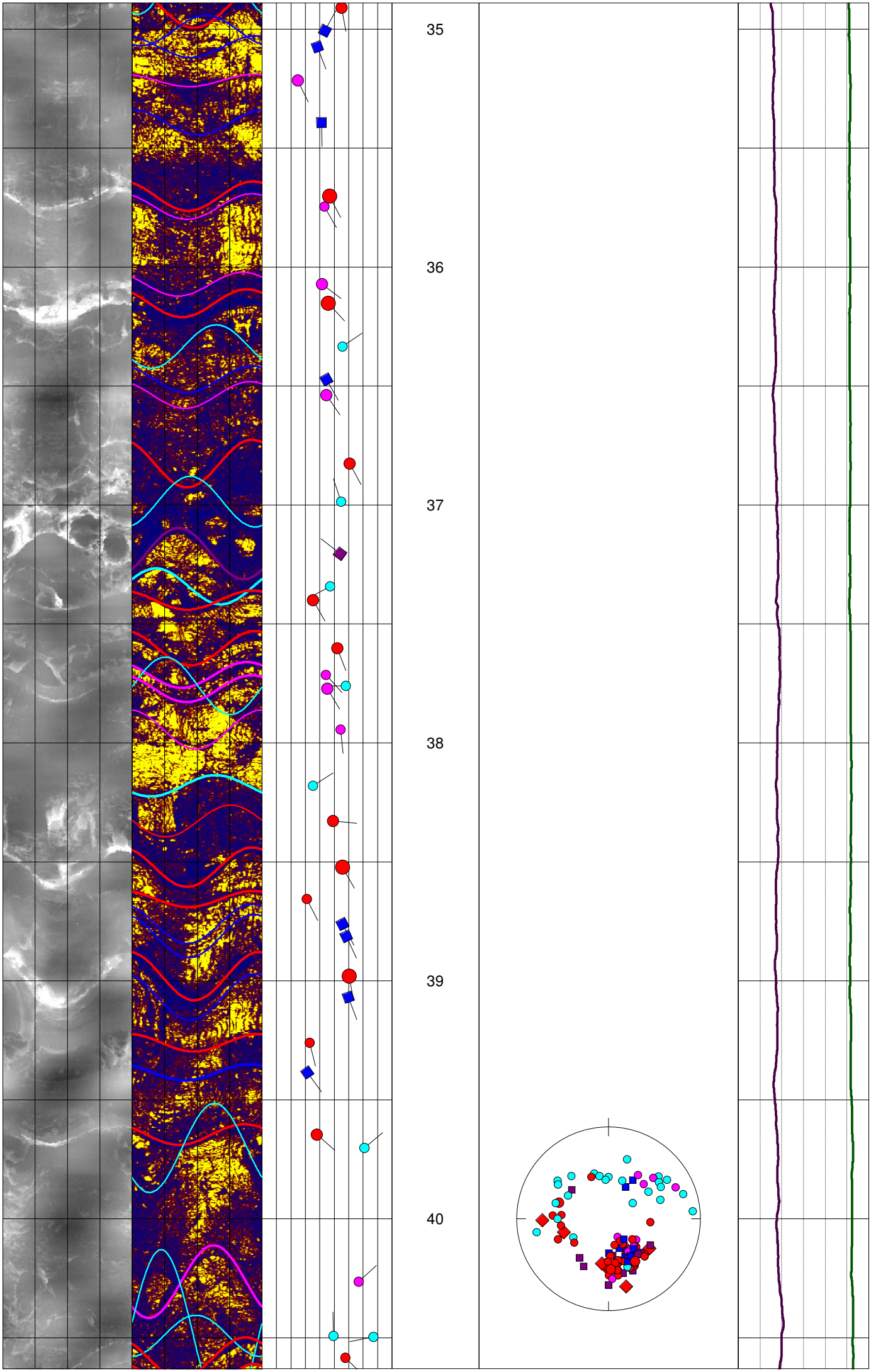


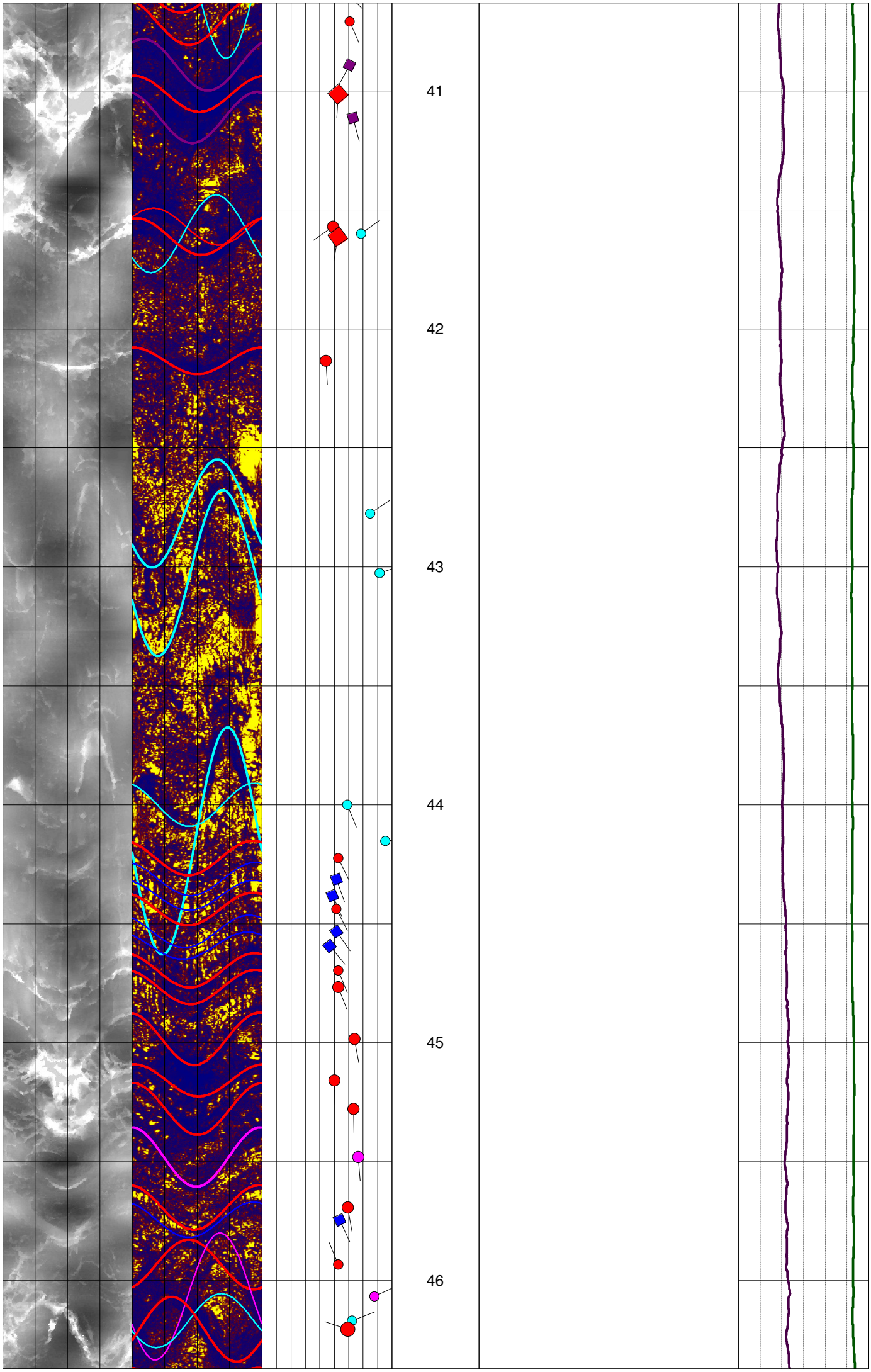

12
13
14
15
16
17

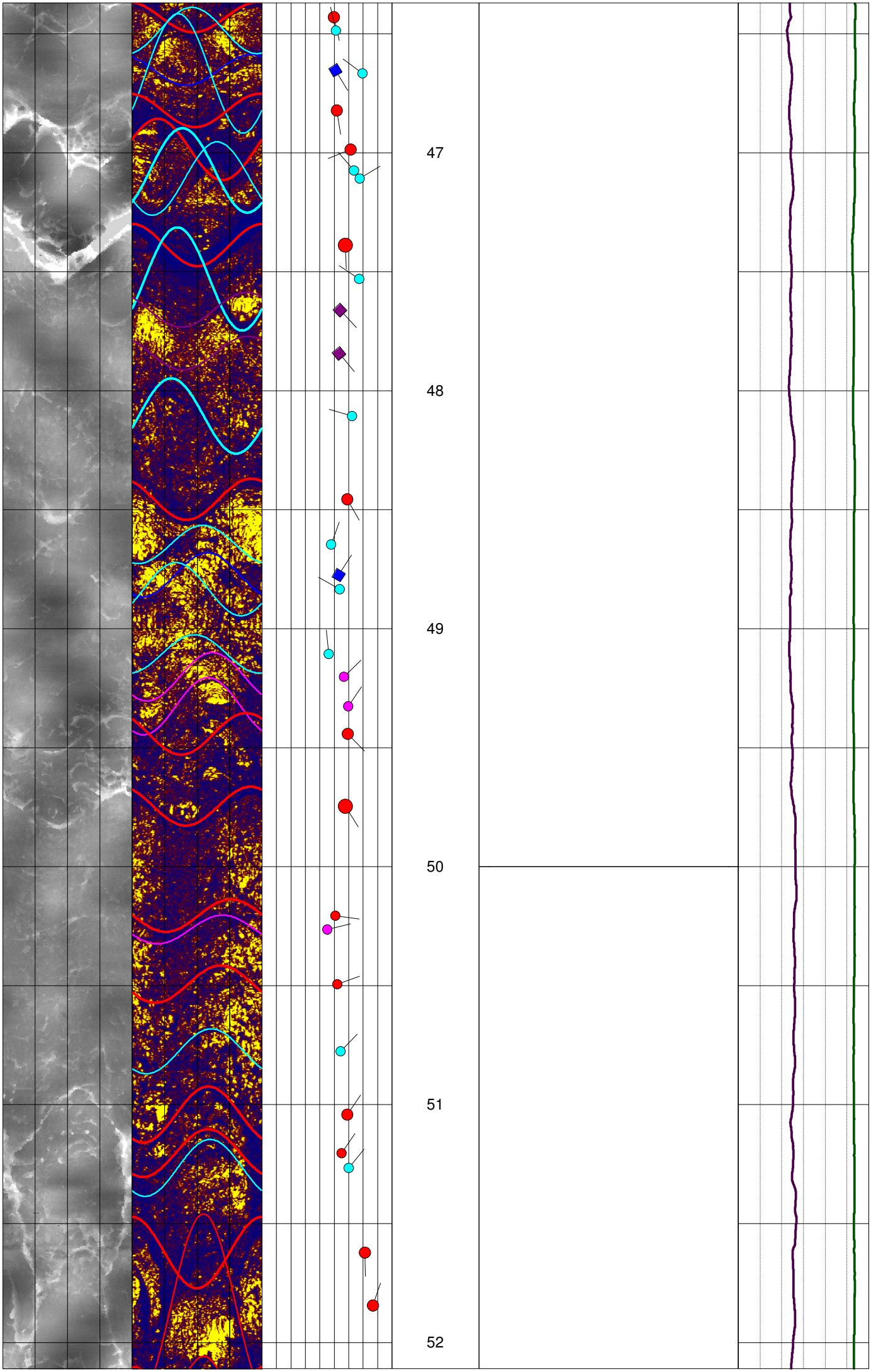

18
19
20
21
22
23

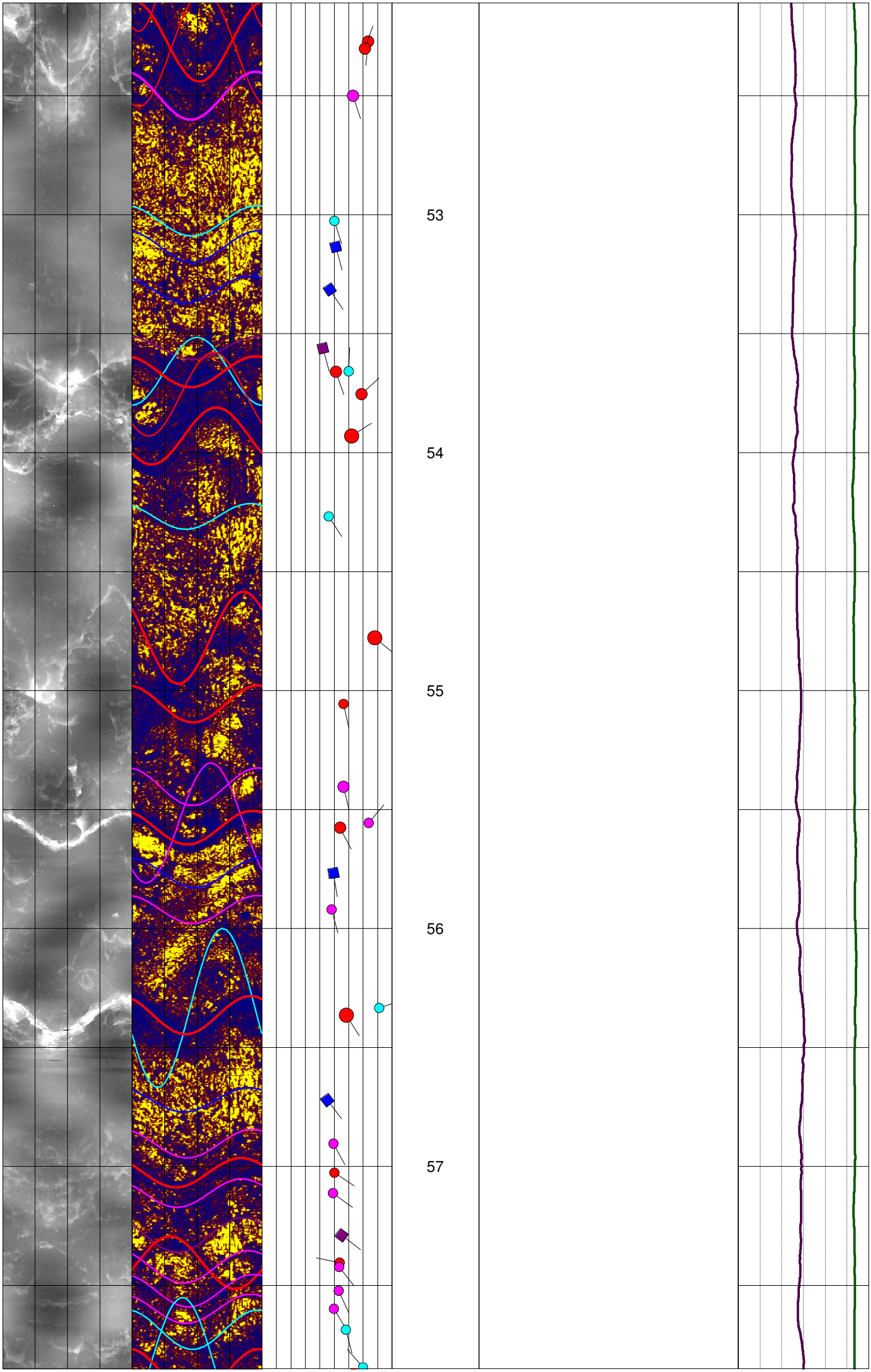

24
25
26
27
28
29

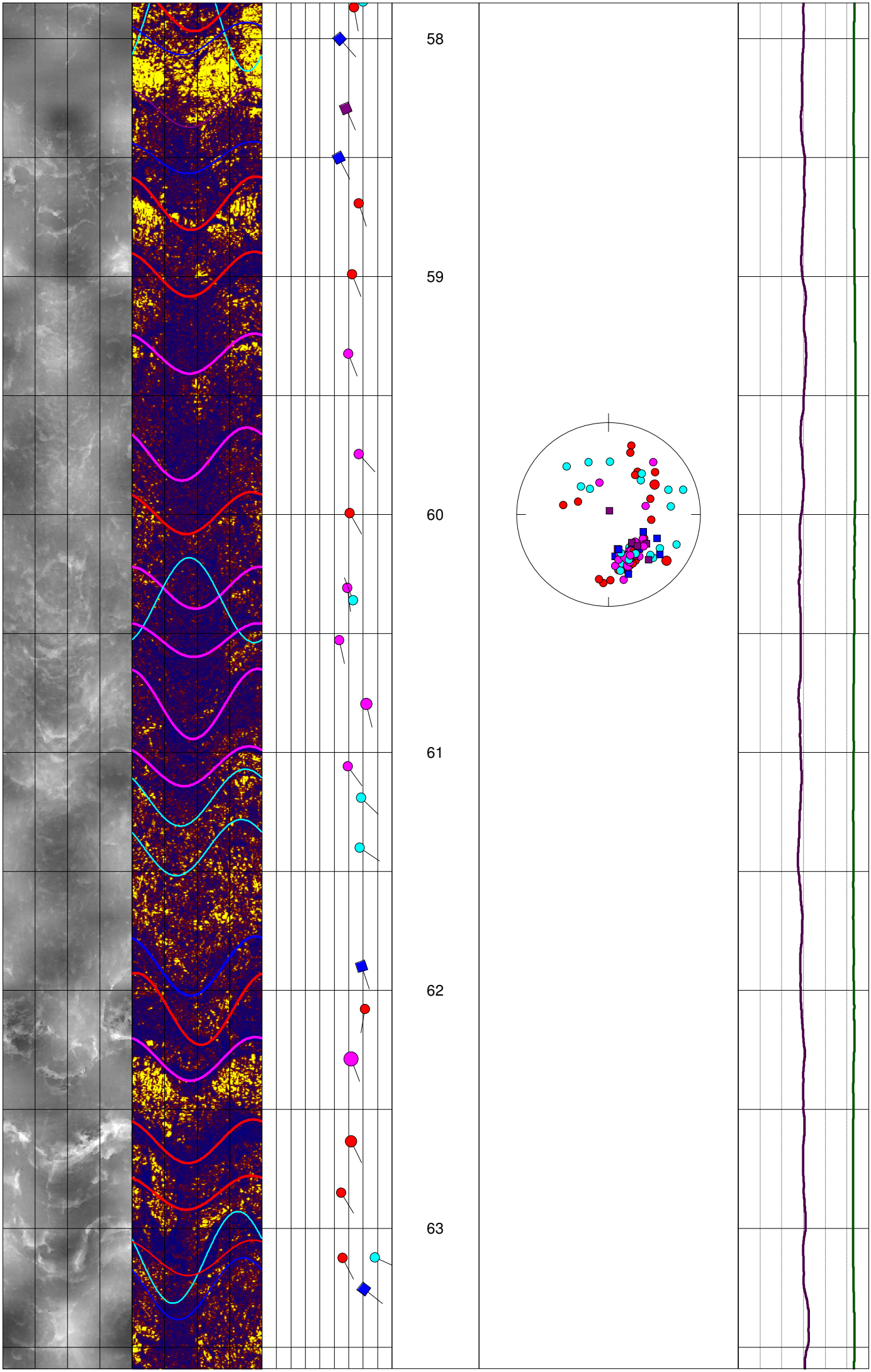

30
31
32
33
34

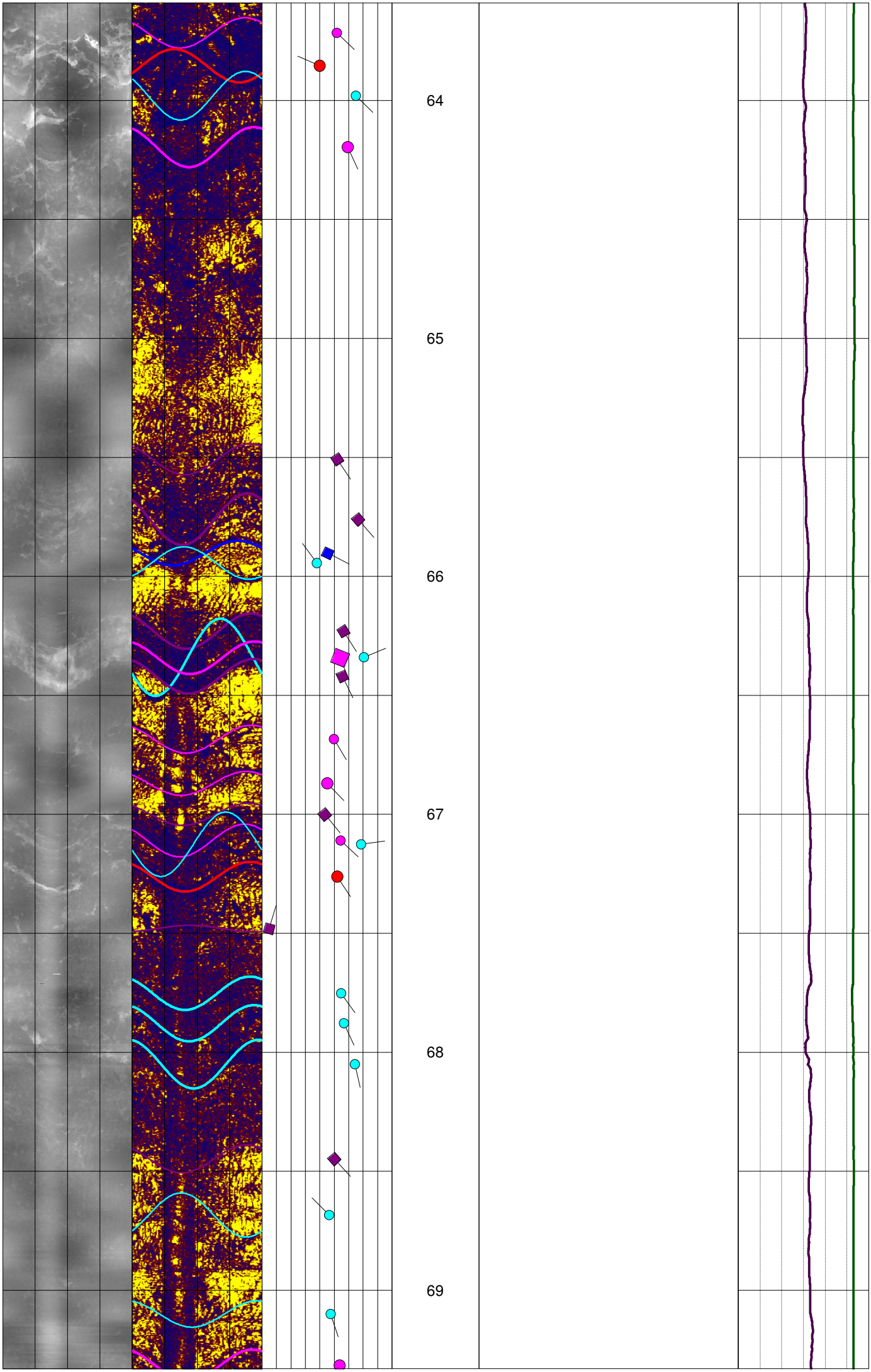

35
36
37
38
39
40

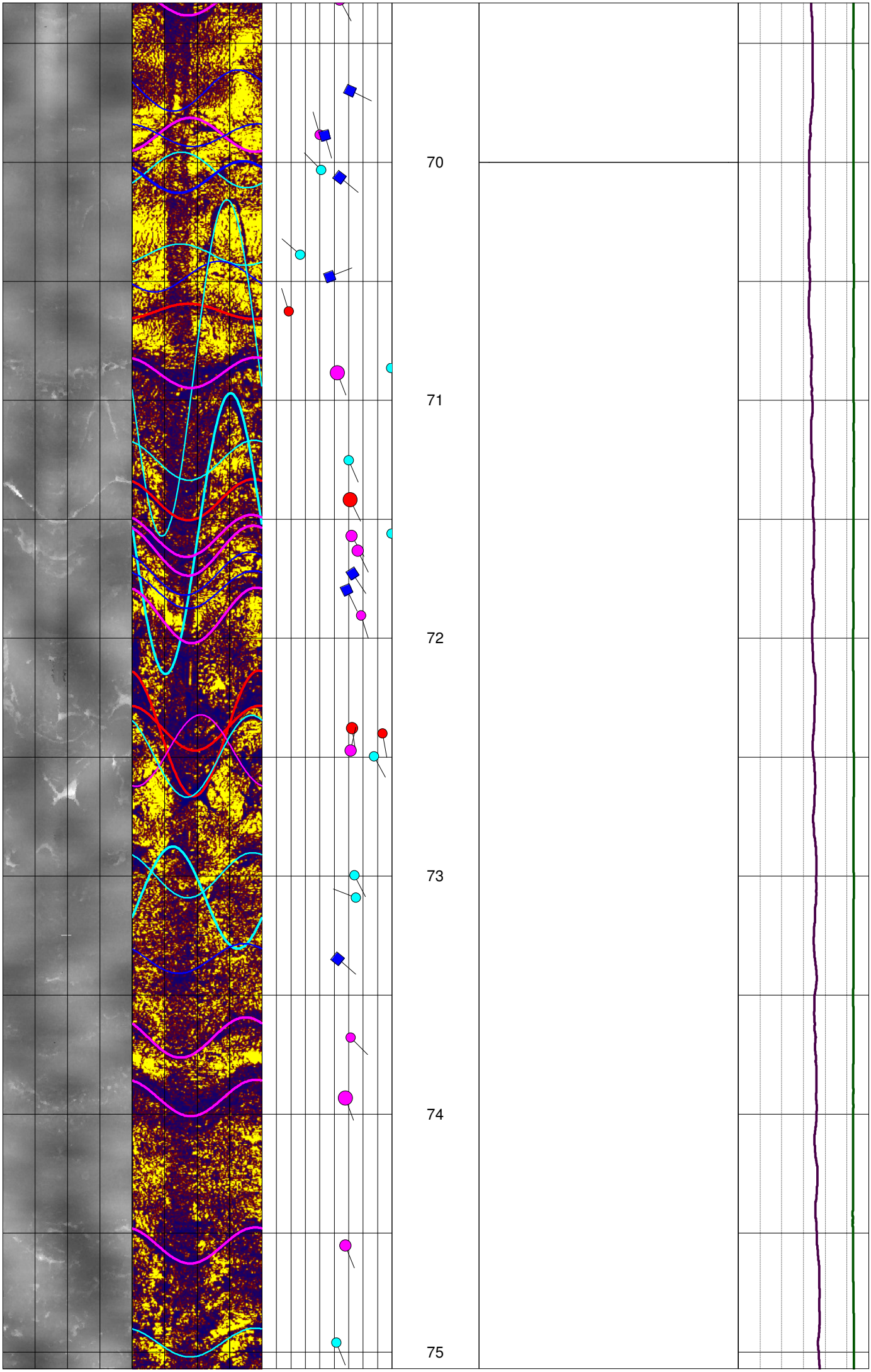

41
42
43
44
45
46

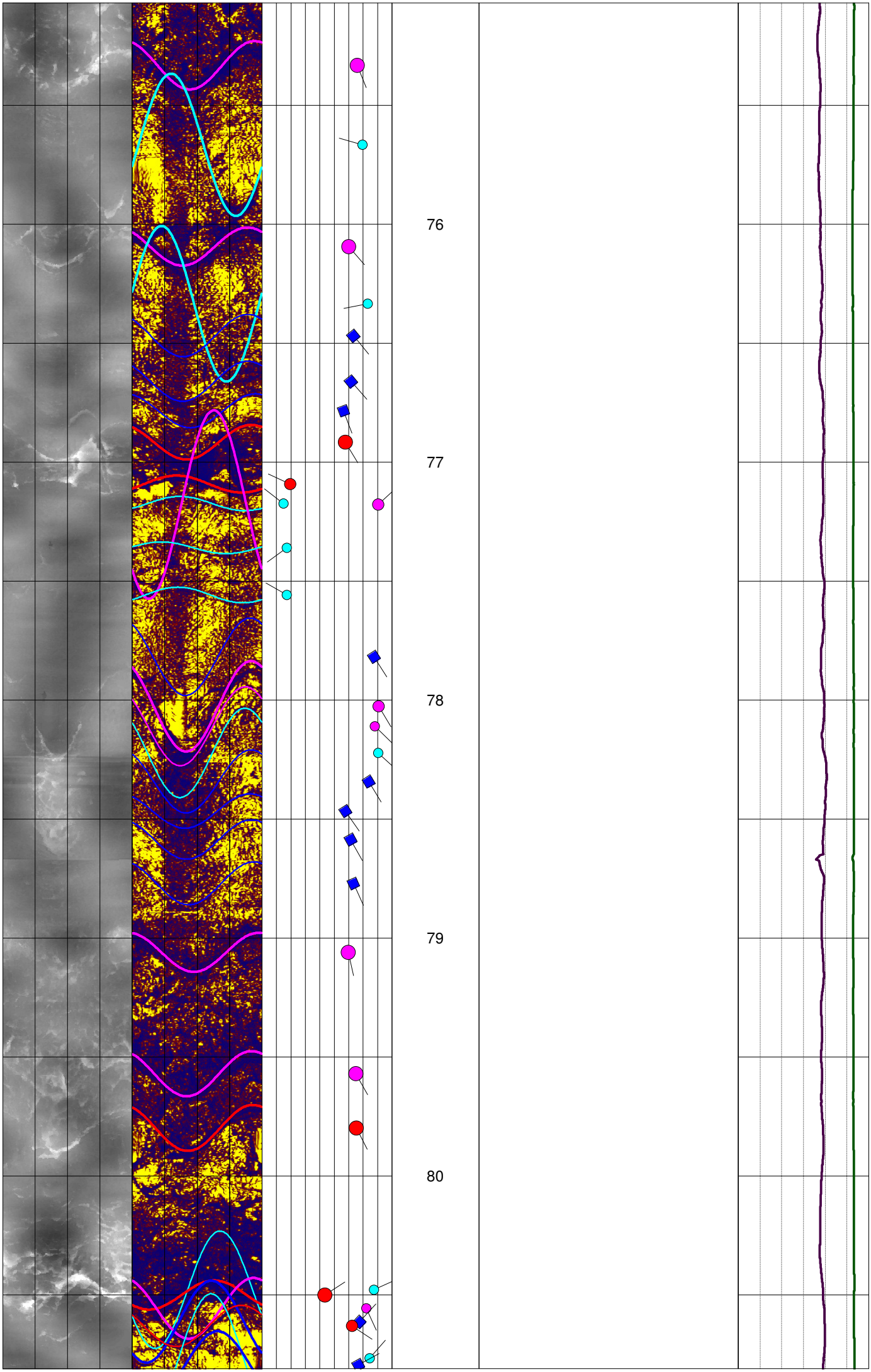

47
48
49
50
51
52

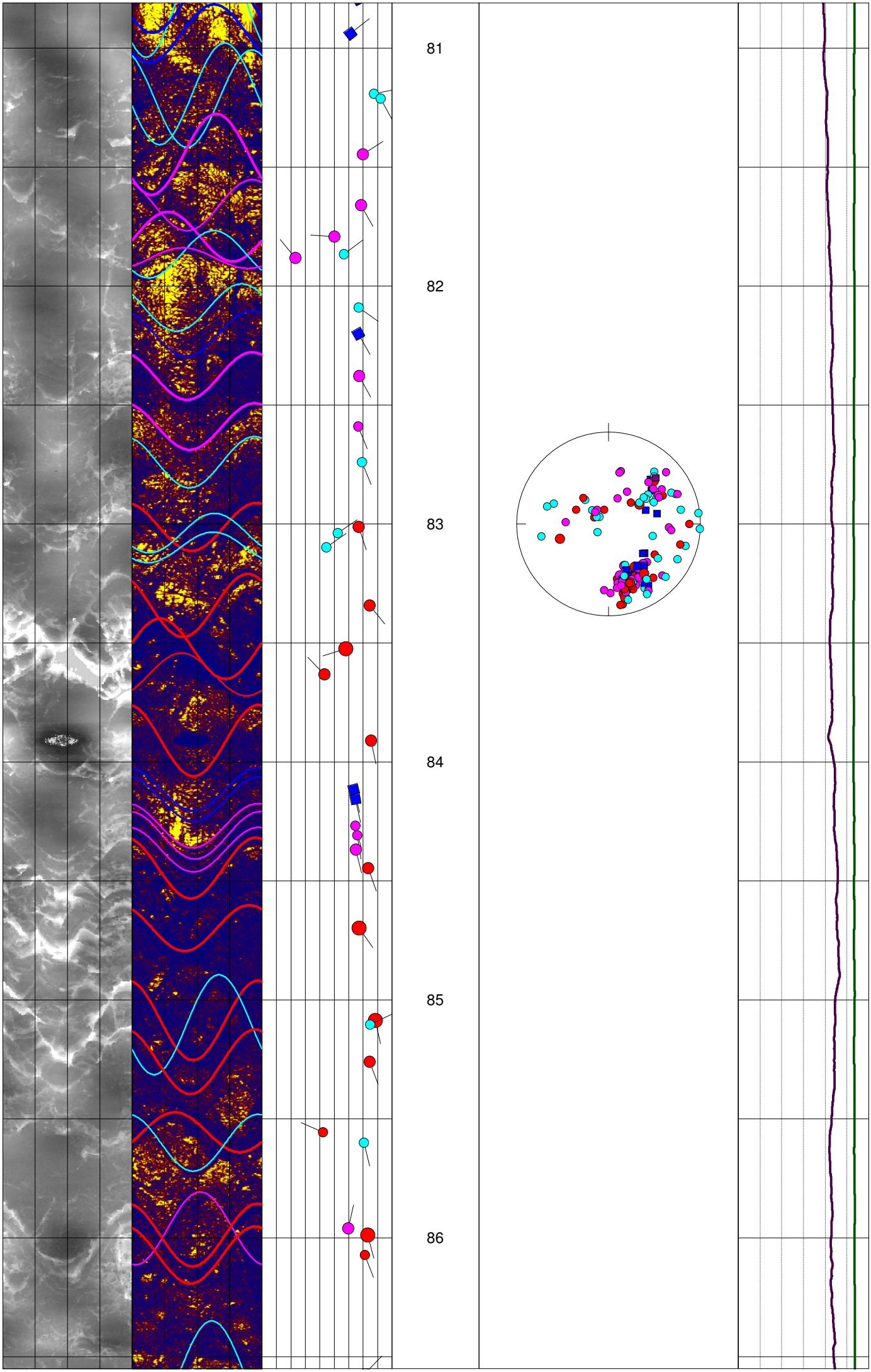

53
54
55
56
57

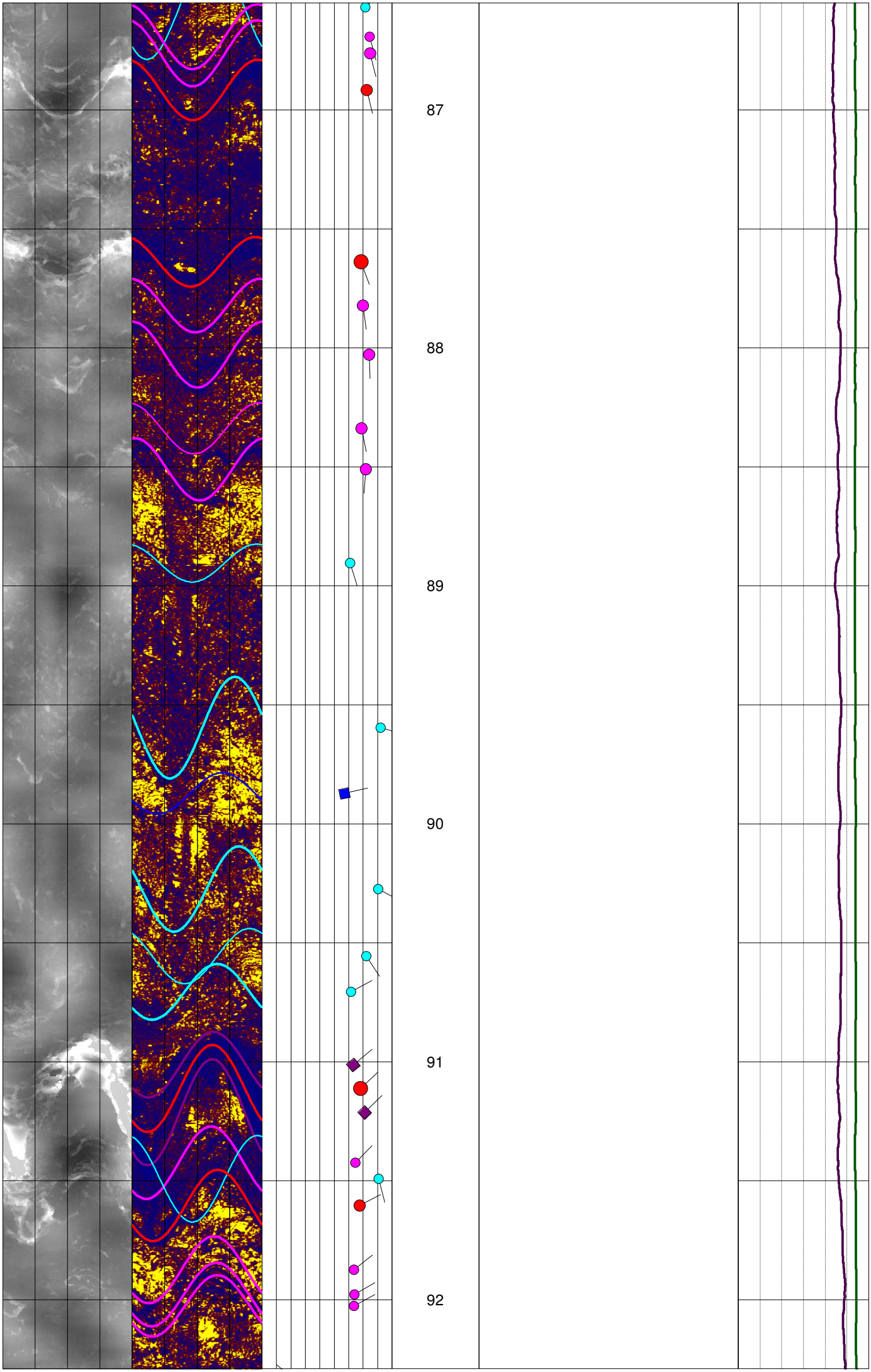

58
59
60
61
62
63

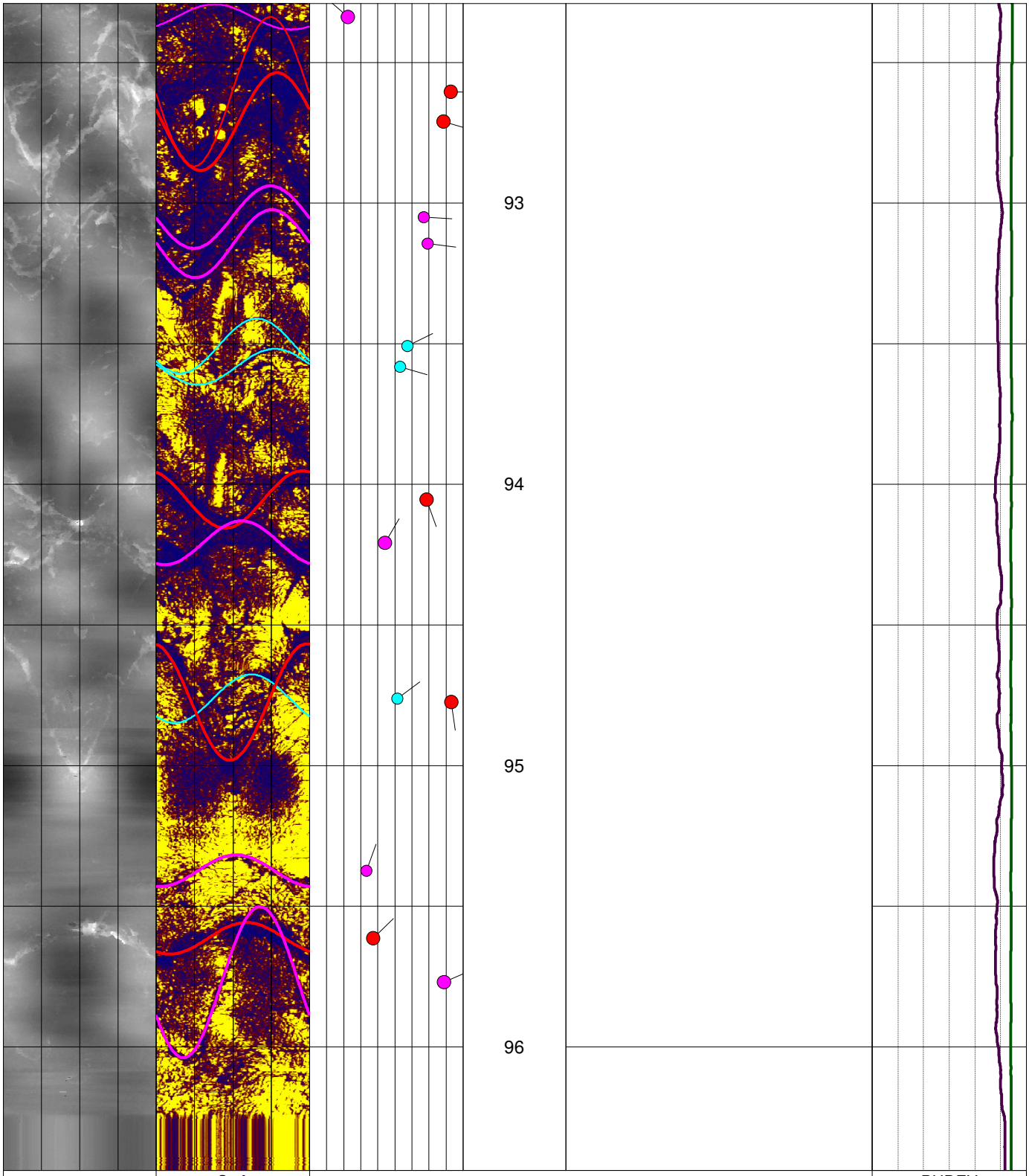

64
65
66
67
68
69


70
71
72
73
74
75


76
77
78
79
80

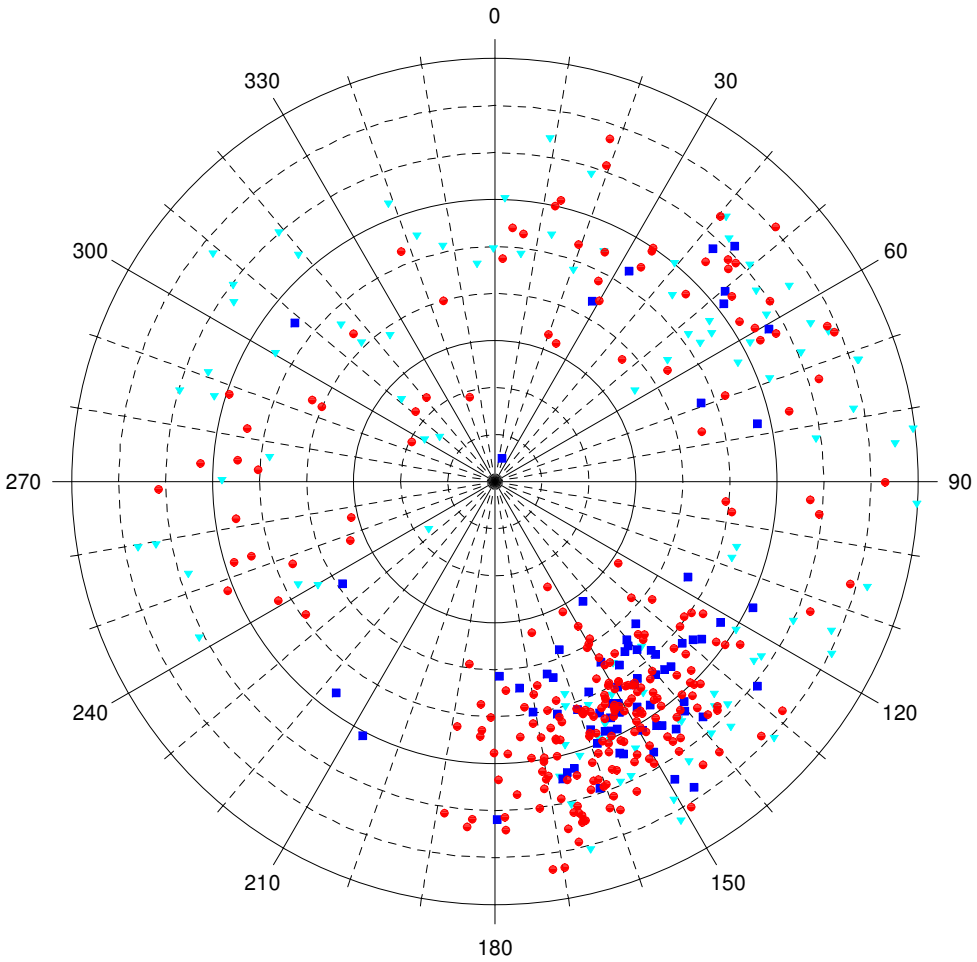

81
82
83
84
85
86


87
88
89
90
91
92



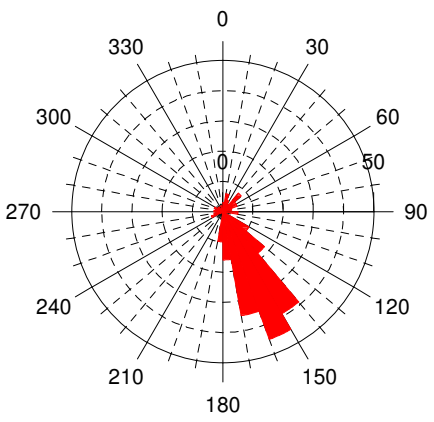
	StrA			BHDEV
	0° 90° 180° 270° 0°			0 °/VERT 15
TT-MagN	AMP-MagN	StrC	Depth	Stereo	BHAZ
0° 90° 180° 270° 0°	0° 90° 180° 270° 0°	0 90	1m:20m		0 °/MagN 360

5.3 Annexe 3 – analyse structurale

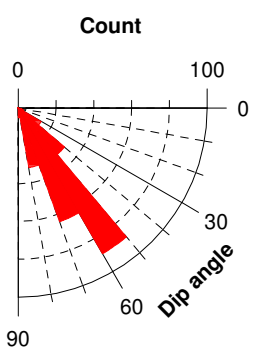


Pôles des plans structuraux
(Projection de Wulff
Hémisphère supérieur)

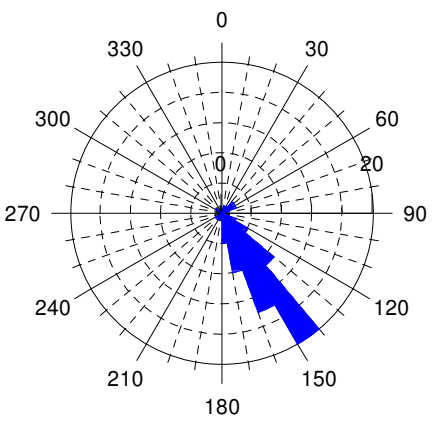
Azimuts - Fractures



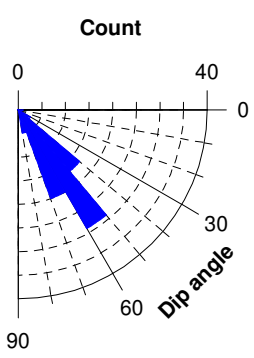
Pendages - Fractures



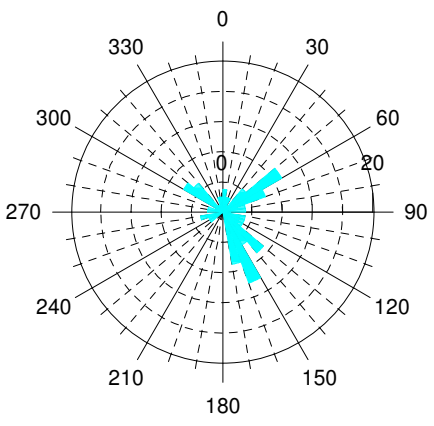
Azimuts - Strati/foliation/contacts



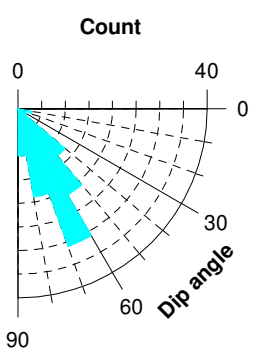
Pendages - Strati/foliation/contacts



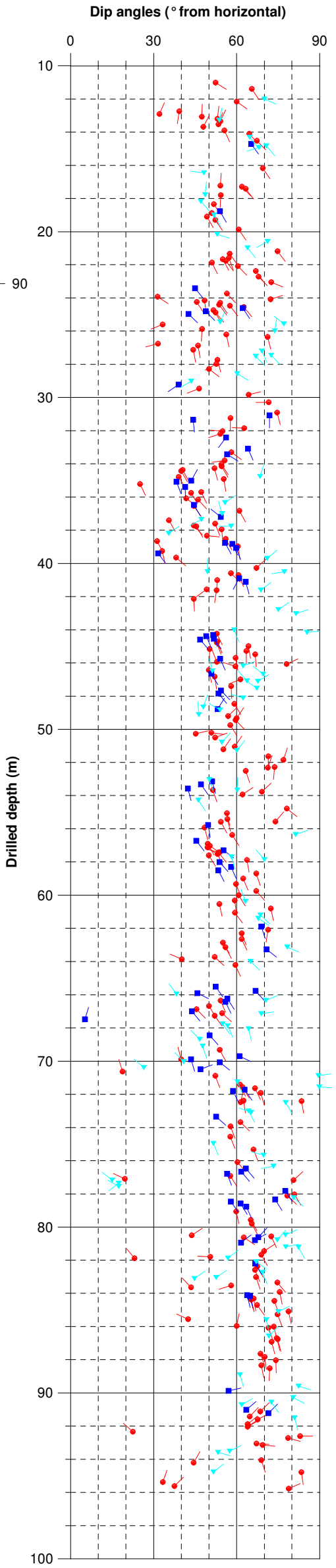
Azimuts - Incomplète/indéterminé



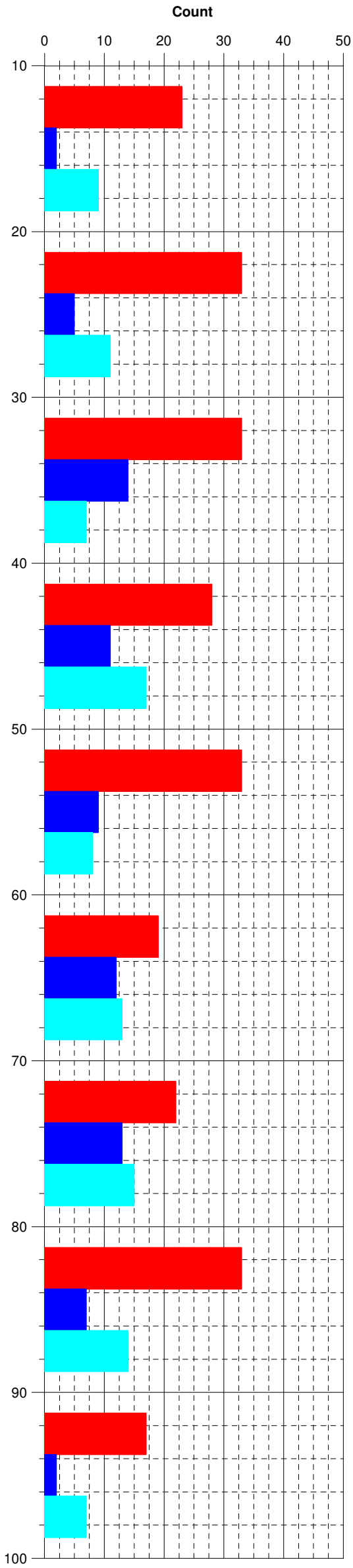
Pendages - Incomplète/indéterminé



Structure log



Depth histogram



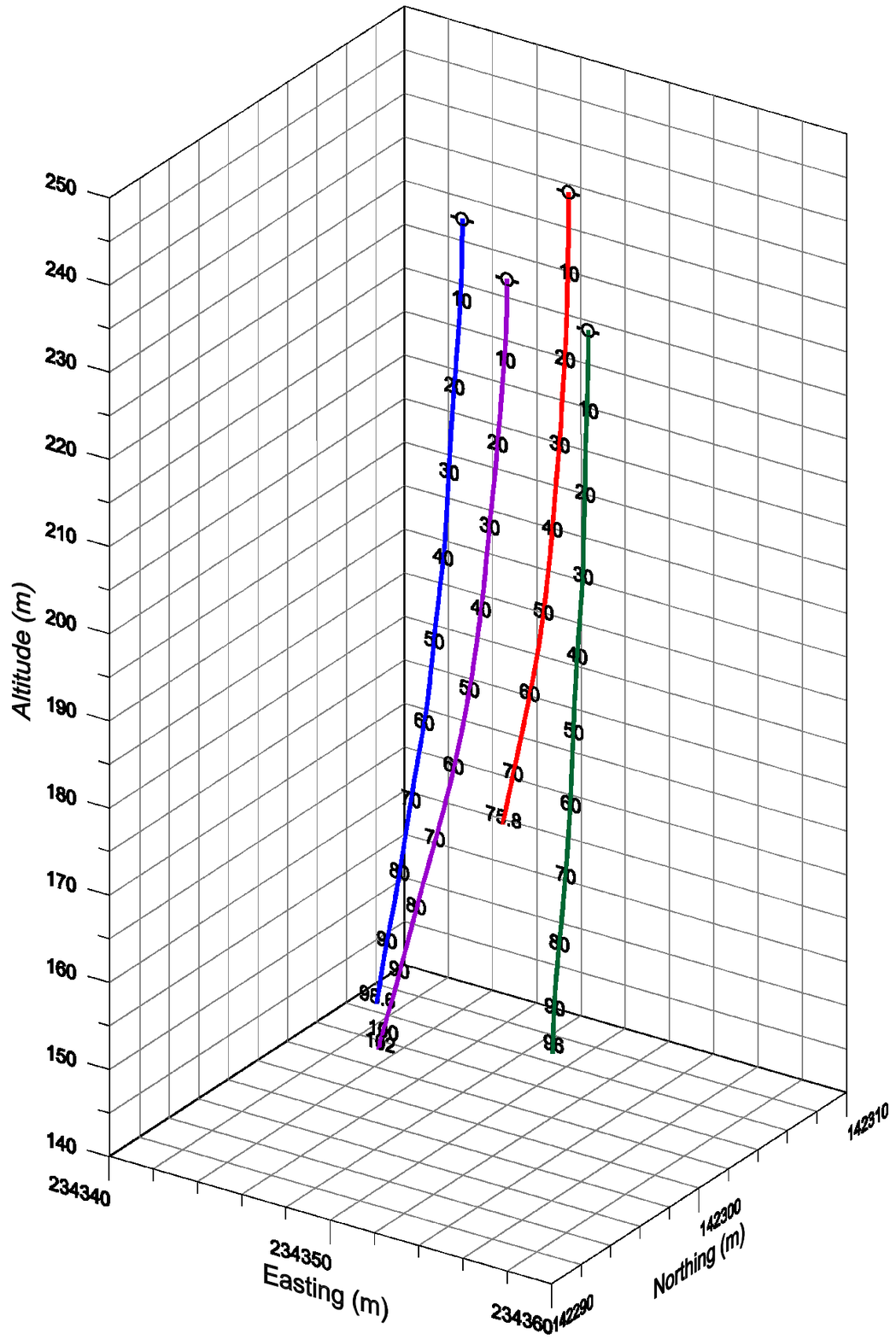
Légende
- Fractures
- Strati/foliation/contacts
- Incomplète/Indéterminé

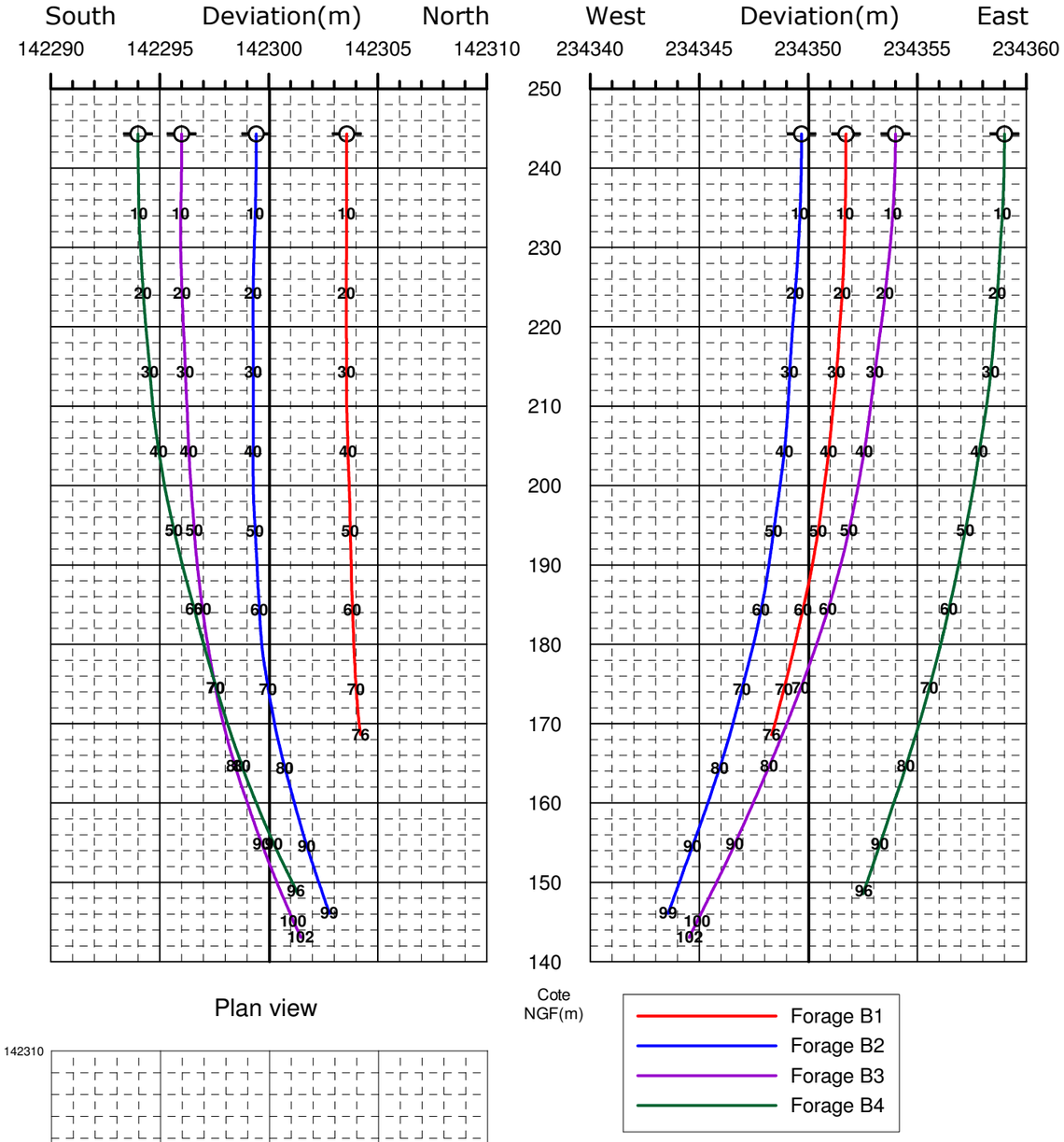
Données structurales(BHTV)

Forage:	**B4**
Site:	Sart Tilman
Client:	Université de Liège
Date:	14.08.2013
Intervalle:	10.8 - 96.2 m

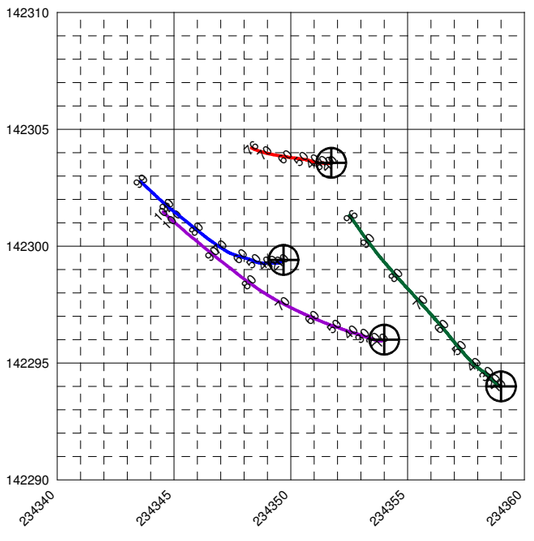
LIM Logging sa
1 rue de l'Industrie BP48, L-4801 RODANGE, Luxembourg
Tél. (+352) 33.77.70 Fax (+352) 33.95.70 Email: logging@lim.eu

5.4 Annexe 4 – trajectométrie du forage





Plan view



Borehole Survey Plot

Forage(s): **B1, B2, B3, B4**

Site: CAMPUS SART TILMAN

Client: ULg

Date: 12 & 18/06, 07 & 14/08/2013

LIM Logging sa
1 rue de l'Industrie/BP48, L-4801 RODANGE, Luxembourg
Tél. (+352) 337770 Fax: (+352) 309570 Email: logging@lim.lu

5.5 Annexe 5 – fiche technique

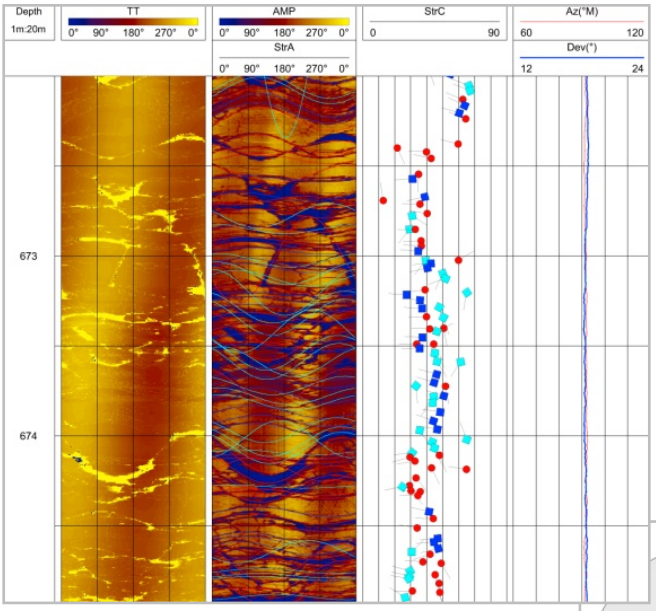
Logging Instrumentation Mesure

FICHE TECHNIQUE

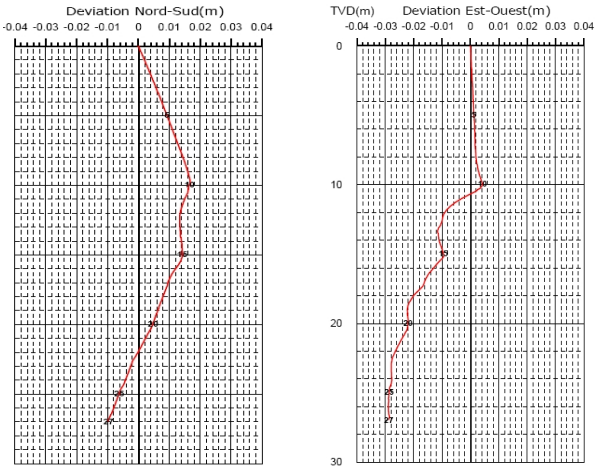
BoreHole TeleViewer 43

Le Televiewer est un outil qui, grâce à un émetteur-récepteur rotatif situé en bas de sonde, envoie un faisceau d'impulsions ultrasoniques vers les parois du forage. Celles-ci retournent un écho dont l'amplitude et le temps d'arrivée sont analysés par le récepteur. Ces données, combinées avec les mesures d'orientation fournies par un ensemble magnétomètres-inclinomètres, fourniront une image précise et orientée des formations. Elle permet également le contrôle de la verticalité des puits.

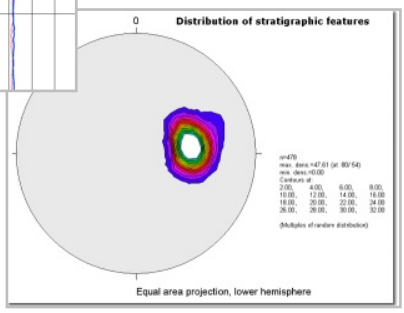
Un logiciel de traitement peut encore affiner l'image, et permettre une analyse très poussée de certaines zones d'intérêt.

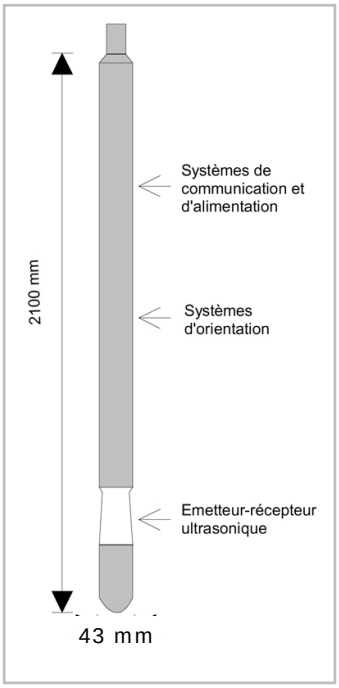


Vues des formations (quantité et orientation des fractures)



Déviation du forage avec représentations:
- Nord/Sud et Est/Ouest
(contrôle de la verticalité)





Caractéristiques :

Diamètre / Longueur	:	43 mm / 2100 mm
Temp/Pression	:	70°C / 150 bar (max d'utilisation)
Conditions de diamètre	:	56 à 400 mm (suivant les caractéristiques de la boue)
Système d'amplification	:	de 0 à 60 dB (pas de 1dB)
Fréquence du signal	:	1.5 MHz
Dimension du faisceau	:	3*3mm
Nbre d'échantillon/révolution	:	90,120,180 ou 360
Fréquence de rotation	:	jusqu'à 20 révolution/sec
Système d'orientation	:	3 ensembles magnétomètres/ inclinomètres axiaux
Précision de l'orientation	:	+/-0.5° inclinaison; +/- 1.0° azimuth

LIM-Logging
Email : infos-logging@lim.eu
Site : http://www.lim.eu

Direction Logging - 1, rue du chemin de fer - 8378 KLEINBETTINGEN - LUXEMBOURG - Tel : +352 33.77.70 - Fax : +352 33.95.70
Agence PACA - 5, Boulevard des Deux Vallons - 06220 VALLAURIS - Tél: +33 (0)4.93.64.01.40 - Fax: +33 (0)4.93.64.95.43
Agence Paris - 11, avenue Charles Floquet - 93150 LE BLANC MESNIL - Tel:+33(0)1.45.91.01.69 - Fax:+33(0)1.48.65.40.50