# Compte rendu factuel de mesures

# ULg/Projet « GeoTherWal »

# Forage : B2

# 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-R1 (v1.0/25.06.2013)

# 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)....5
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 12.06.2013 afin d'effectuer des diagraphies d'imagerie des parois dans les deux forages qui avaient alors été réalisés 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 B2 d'une profondeur de 101 m/sol et de diamètre, dans la partie en trou nu concernée par nos mesures, de 130 mm. Lors de notre intervention, un tubage de protection en acier était présent entre - 0.66 m et 13.50 m. Le dispositif de mesure a pu atteindre la profondeur de 98.82 m avant de rencontrer des dépôts remplissant le fond du forage.

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 des 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).

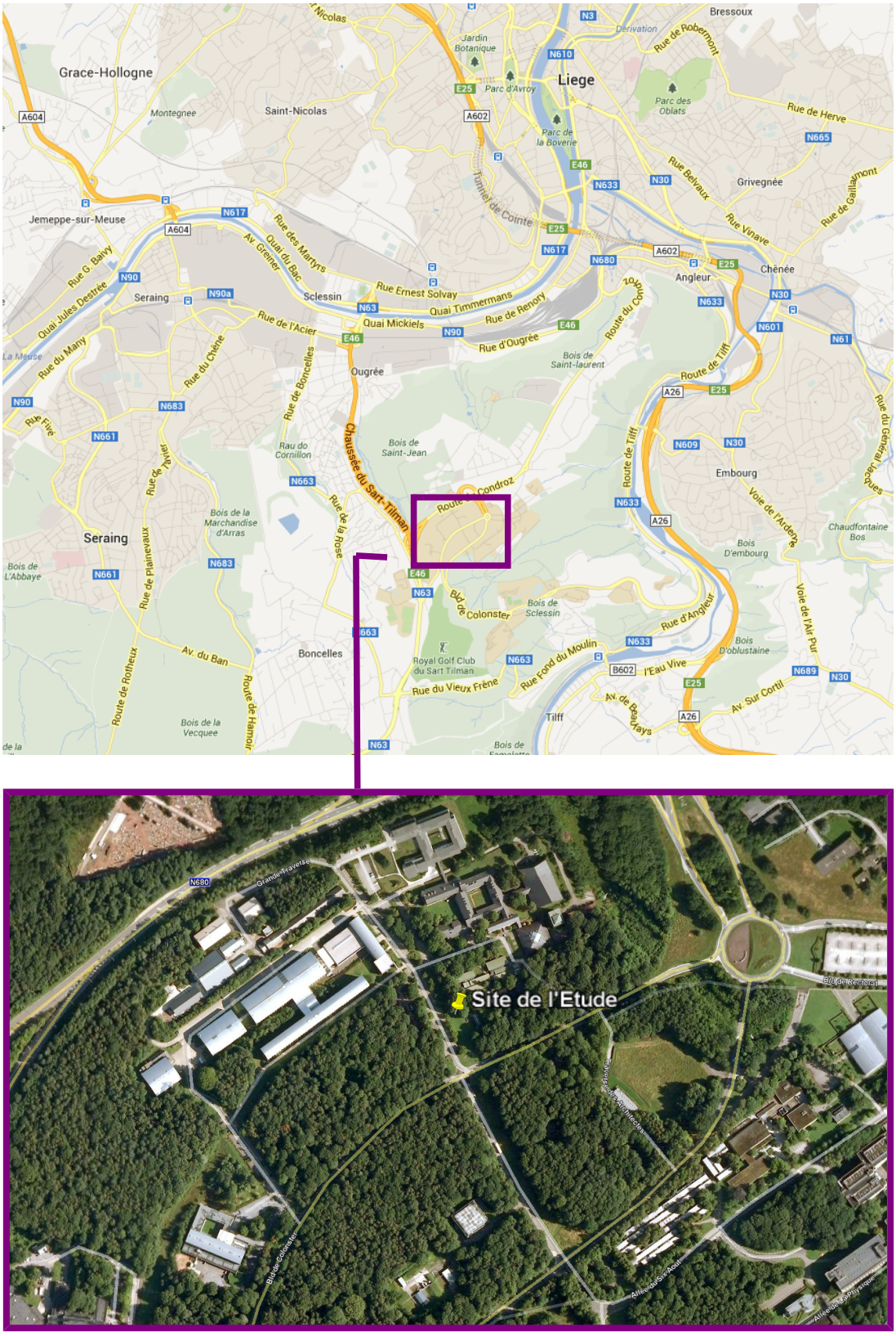



*Figure 1: Localisation du site de l'étude (données cartographiques © Google)*

# 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) | |
| A | 11.13 | 20.53 | Le signal du gamma-ray oscille entre 30 et 80 API, indiquant des terrains de nature argileuse ou schisteuse. Dans le contexte de ce forage, ces terrains semblent assez compacts et le diamètre du forage varie relativement peu. |
| B | 20.53 | 25.35 | Sur cet intervalle les terrains sont visiblement moins argileux ou schisteux (grès, quartzite ?). En même temps, ils sont très peu consolidés et présentent plusieurs caves et/ou élargissements importants. |
| C | 25.35 | 34.85 | Les valeurs gamma-ray sont de nouveau plus élevées (60 à 90 cps), sauf pour un niveau localisé entre 28.50 m et 30.10 m. De nouveau, ces terrains moins radioactifs semblent être très peu résistants. |
| D | 34.85 | 38.07 | Par contre, cette couche, visiblement plutôt gréseuse dans l'ensemble, se montre assez compétente. Le diamètre du forage reste assez proche du diamètre théorique. Quartzite ? |
| E | 38.07 | 64.49 | Le signal gamma, alors qu'assez variable, maintient un niveau moyen suggérant de terrains schisteux dans l'ensemble (60 à 80 cps). Des passes sableuses/gréseuses apparaissent de manière régulière (40 m, 42 m, 47.2 m, 48 à 52 m, 56 m, 58 m).<br><br>Cet intervalle est parsemé de fractures ou élargissements, dont les plus importants se localisent entre le contact supérieur et 44.5 m. |

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

| Unité | Intervalle | | Description/remarques |
|---|---|---|---|
| | de(m) | à(m) | |
| F | 64.49 | 81.03 | Les valeurs gamma-ray baissent (+/- 50 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 66.5 et 70 m, ainsi qu'entre 71.9 et 73.8 m. Dans la partie basse de l'unité, les valeurs affichées sont comprises entre 20 et 60 cps et caractérisent, à priori, des terrains gréseux ou quartzitiques.<br><br>Les terrains se montrent très peu consolidés entre 76 m et le contact inférieur de l'unité. |
| G | 81.03 | 88.55 | Une hausse brusque des valeurs gamma-ray (90 cps) permet de délimiter le contact supérieur de cette unité schisteuse.<br><br>Le diamètre calculé à partir des résultats BHTV est régulier et proche de celui de l'outil de forage, les terrains sont compacts. |
| H | 88.55 | 98.60 | La radioactivité naturelle baisse +/- graduellement en fonction de la profondeur, indiquant une transition vers des formations plus gréseuses.<br><br>Les résultats du diamétreur acoustique caractérisent des terrains peu compacts, de nombreuses fractures ou élargissements sont présentes. |

## *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 adéquate. Malheureusement, de part 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 . En particulier, considérant les lithologies rencontrées dans le cas du forage B2, relativement peu de plans de type « stratigraphie » ont pu être observés sur les résultats.

Un total de 335 plans structuraux ont pu être repérés sur les images.

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

- fractures et élargissements : 204 plans (61%) ;
- plans de stratification et contacts lithologiques : 51 (15%) ;
- plans incomplètes ou indéterminés : 80 (24%).

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

En termes de direction de pendage, la plus grande population en termes de fractures/élargissements et plans stratigraphies correspond au secteur entre N130° et N160°. Pour les plans stratigraphiques ce secteur est presque exclusif,

alors qu'un certain nombre de plans de fracturation se trouvent ailleurs sur la projection.

En termes de pendage, pour ces mêmes familles, les valeurs les plus représentées se situent entre 40° et 60°/horizontal. La valeur de 60° n'est quasiment jamais dépassée pour les plans stratigraphiques. Par contre, en ce qui concerne les plans de fracturation/élargissement et les plans incomplets/indéterminés, des pendages allant jusqu'à la sub-verticale sont observées.

Les intervalles comprises entre 20 m et 30 m, et entre 70 m et 80 m présentent les plus grandes populations en termes de fractures/élargissements.

## *3.4 Trajectométrie BHTV*

L'inclinaison du forage demeure relativement stable (=<2°) jusqu'à la profondeur de 35 m, environ. A partir de cette cote, l'inclinaison augmente plus ou moins progressivement pour dépasser 10° dans la partie basse du forage. Le forage part vers l'Ouest et, à partir de 70 m, environ, se stabilise dans une direction Nord-Ouest (cf Annexe 4).

Les écarts relatifs à l'origine, calculés à 98.6 m de profondeur, sont de 6.12 m vers l'Ouest et 3.35 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 (N237°) 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 très variable. De part les nombreuses caves qui s'y sont développées, les niveaux les plus gréseux semblent être les plus susceptibles de subir les effets du passage de l'outil de forage. A titre d'exception, un niveau à la fois peu radioactif et compétent se localise entre 34.85 m et 38.07 m. Le sous-sol dans le secteur de Sart Tilman peut apparemment renfermer des couches de quartzite, le niveau décrit précédemment en fait peut-être partie.

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

Le forage atteint presque 11° d'inclinaison par rapport à la verticale, principalement à partir de 35 m de profondeur, en déviant d'abord vers l'Ouest et puis s'aligne sur N310° (donc à 180° par rapport à la direction structurale dominante).

Martin DRAKE

LIM Logging sa

v1.0/26.06.2013

# 5 Annexes

## *5.1 Annexe 1 – diagraphies des formations*

# CAL/GR/DEVIATION LOG

**CLIENT :** ULg

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

**BOREHOLE :** B-2

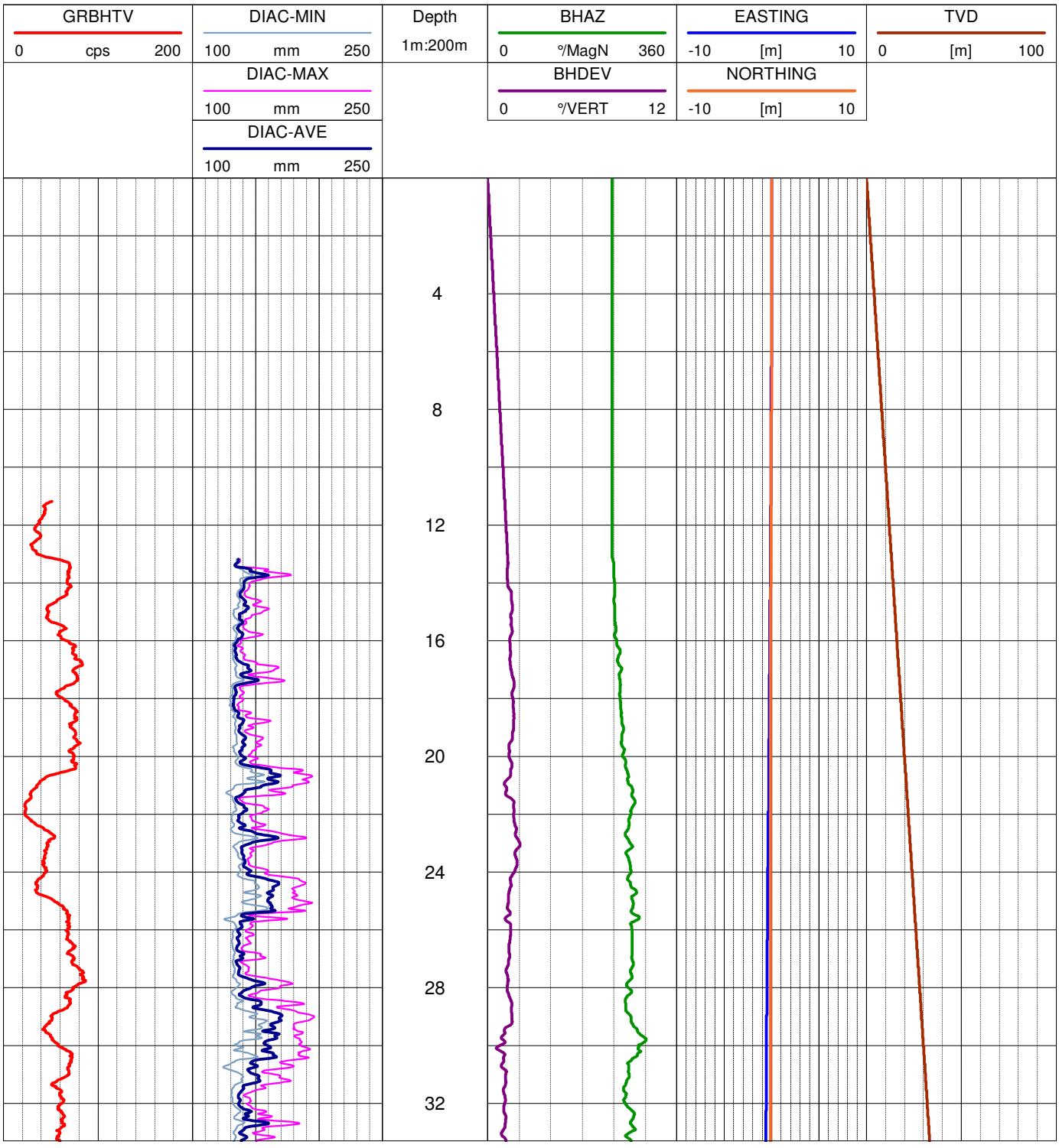
| | | | |
|---|---|---|---|
| *Orientation:* | *Vertical* | *Top depth:* | *0 m* |
| *X:* | *234349.69* | *Bottom depth:* | *98 m* |
| *Y:* | *142299.42* | *Interval:* | *98 m* |
| *Z:* | *243.75* | | |

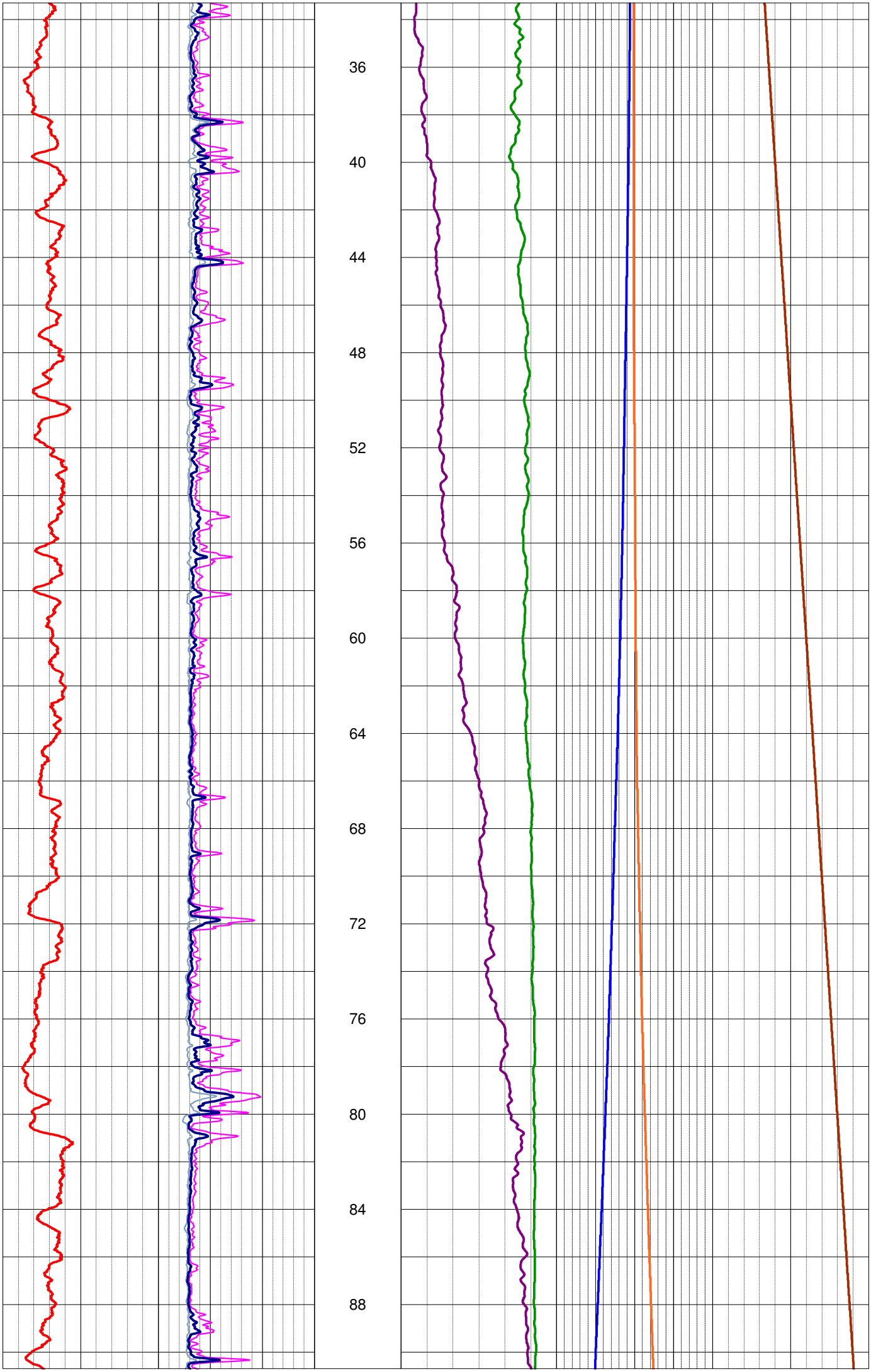
**DATE :** 12/06/2013 **LOGGER:** DRAKE

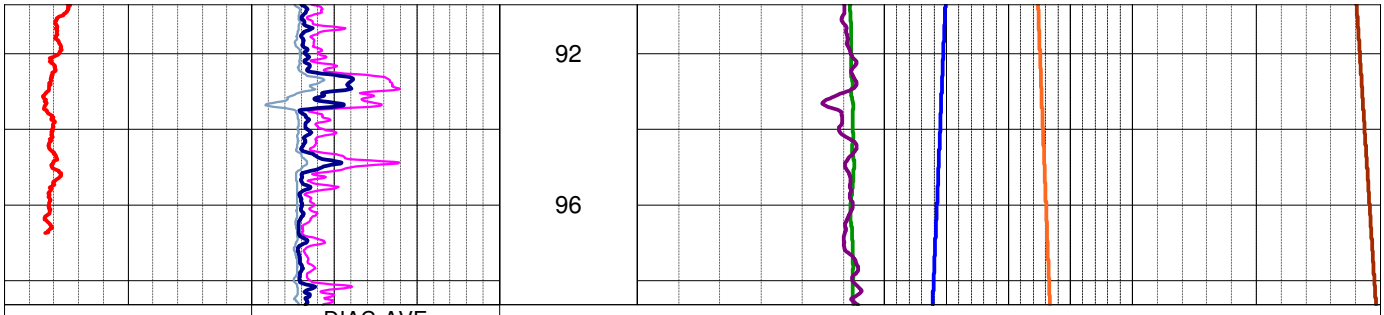
**DATUM:** GL **ASSISTANT:** LAURENT

### *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*




36
40
44
48
52
56
60
64
68
72
76
80
84
88




| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | DIAC-AVE<br>100 mm 250 | | | | | |
| | DIAC-MAX<br>100 mm 250 | | BHDEV<br>0 °/VERT 12 | NORTHING<br>-10 [m] 10 | | |
| GRBHTV<br>0 cps 200 | DIAC-MIN<br>100 mm 250 | Depth<br>1m:200m | BHAZ<br>0 °/MagN 360 | EASTING<br>-10 [m] 10 | TVD<br>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-2

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Orientation:* | *vertical* | *Top depth:* | *13.50 m* |
| *X:* | *234349.69* | *Bottom depth:* | *98.64 m* |
| *Y:* | *142299.42* | *Interval:* | *85.14 m* |
| *Z:* | *243.75* | | |

**DATE :** 12/06/13 **LOGGER:** DRAKE

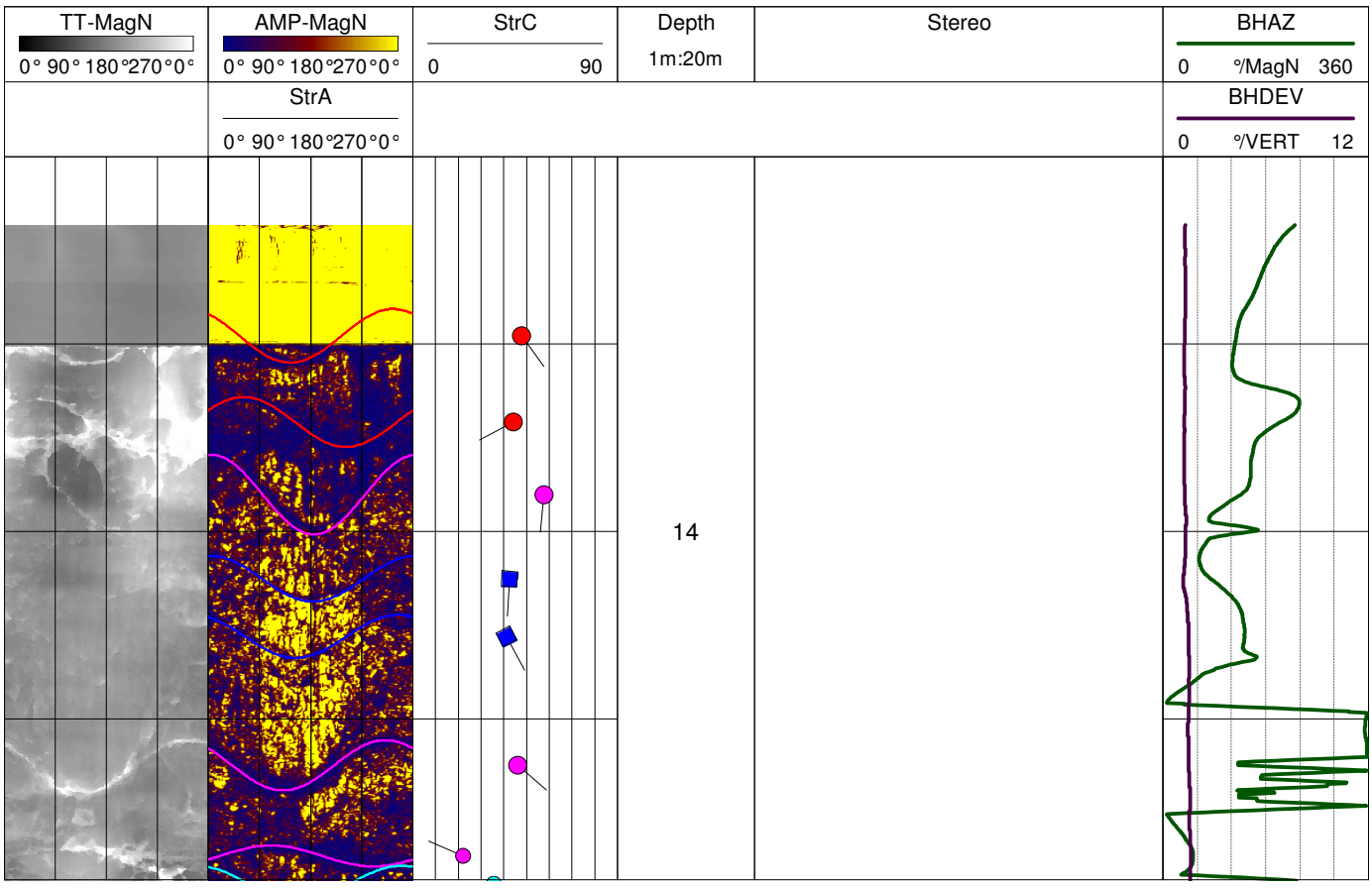
**DATUM:** GL **ASSISTANT:** LAURENT

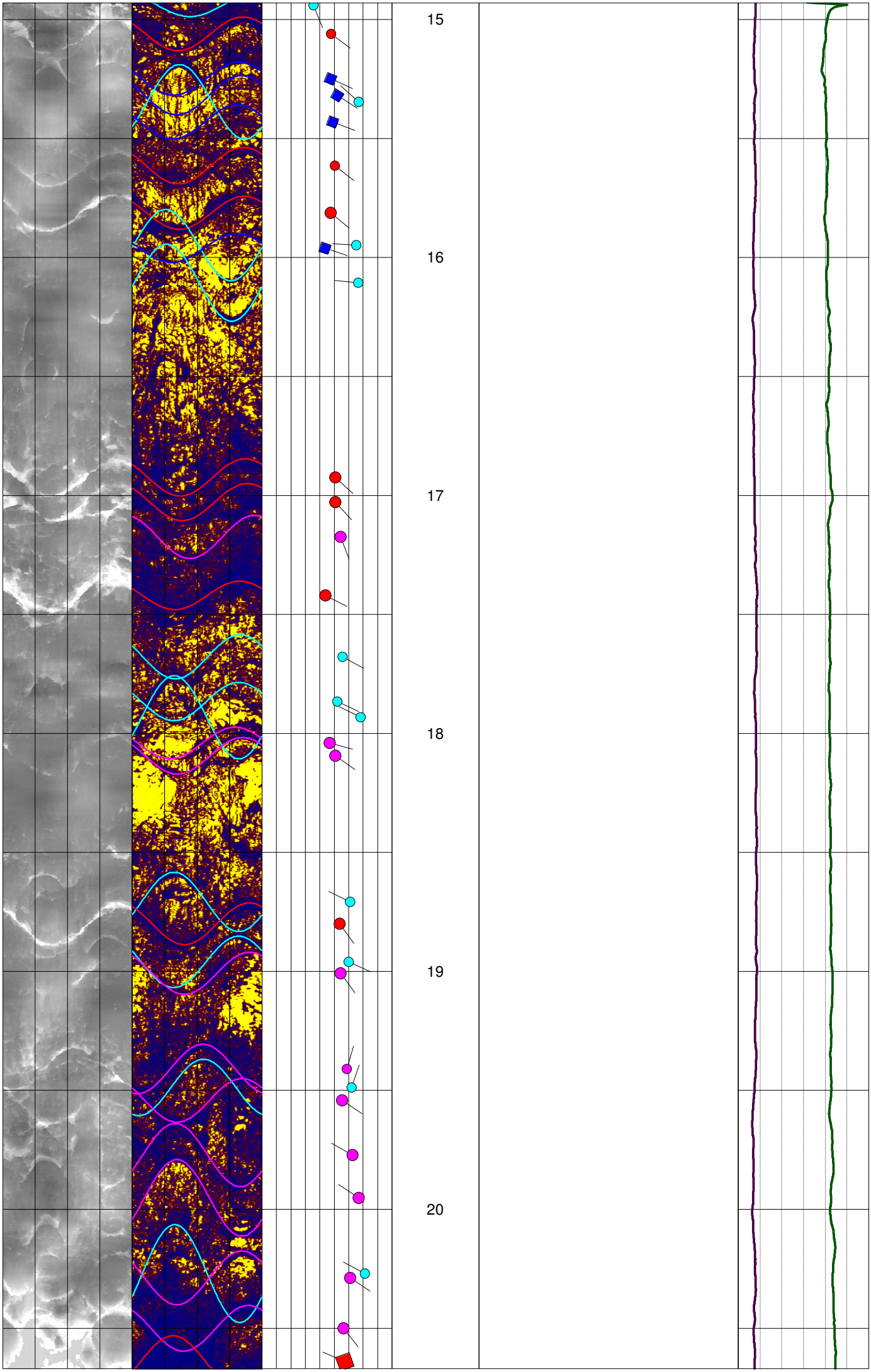
### *Log Identifiers*

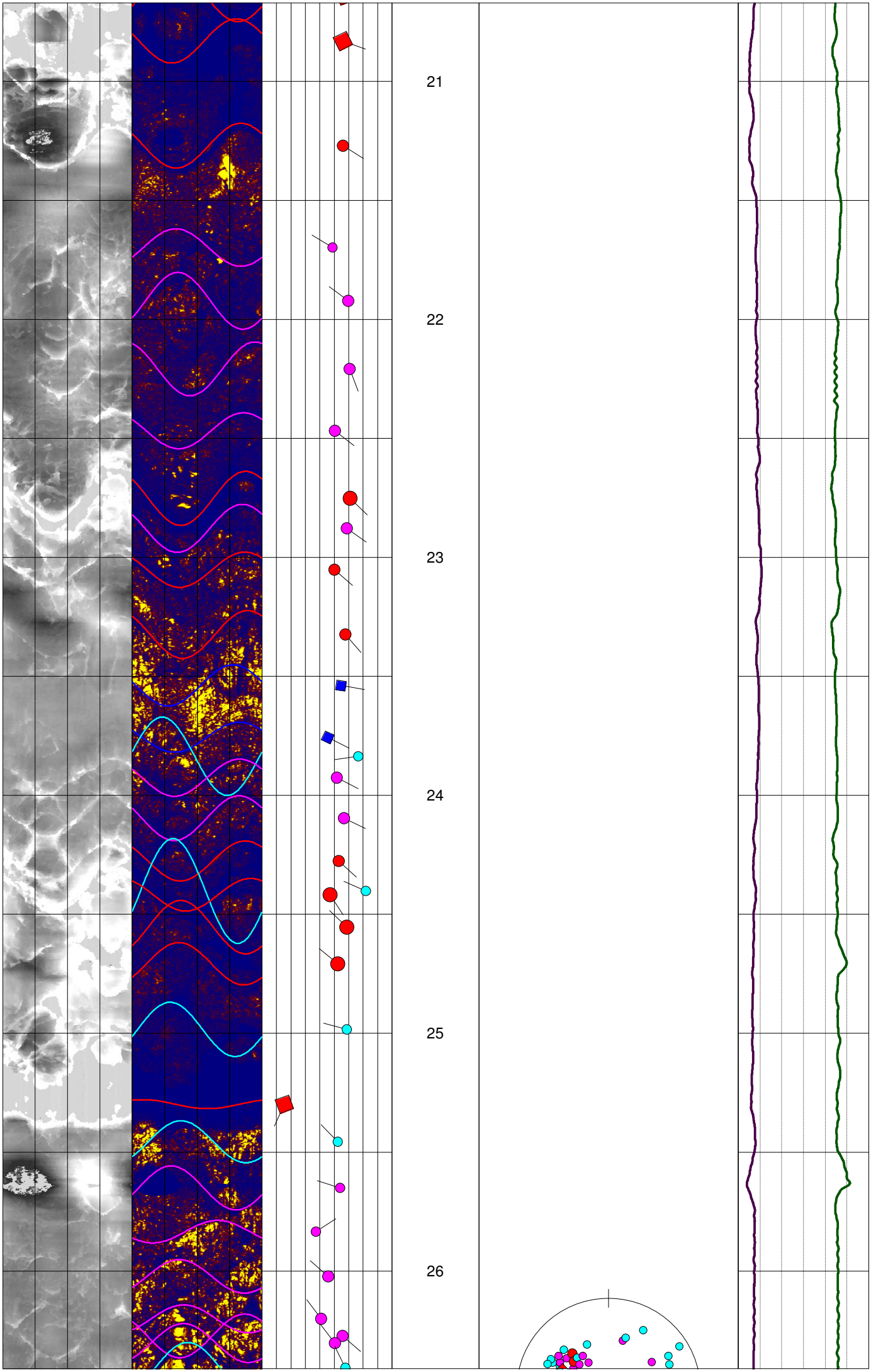
| | |
|---|---|
| *TT-MagN* | *: orientated acoustic travel time image (ref. Mag North)* |
| *AMP-MagN* | *: orientated acoustic amplitude image (ref. Mag North)* |
| *StrA* | *: structures (uncorrected)* |
| *StrC* | *: structures (corrected for borehole direction)* |
| *Stereo* | *: polar plot, Wulff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

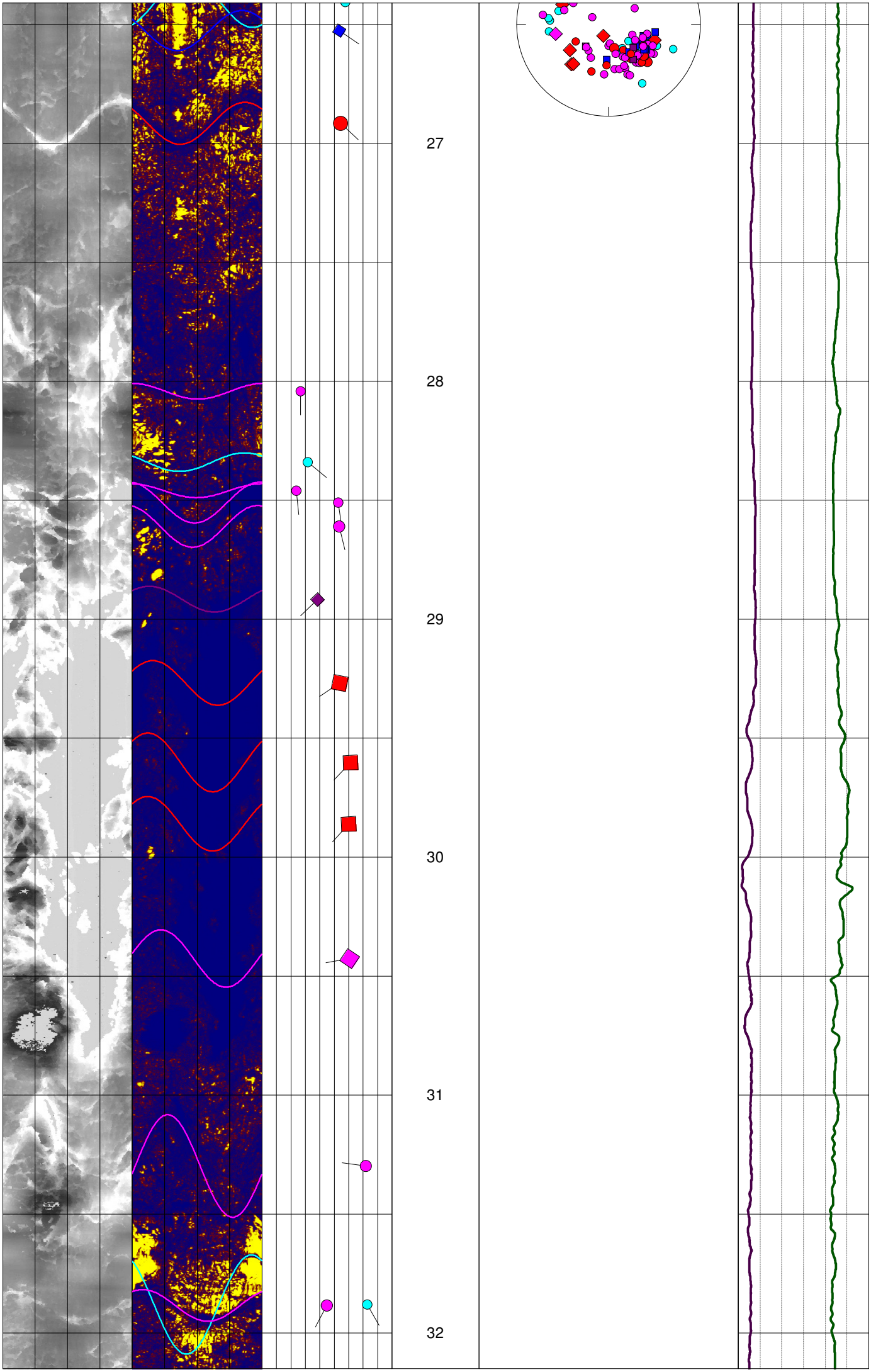
### *Types de structures :*

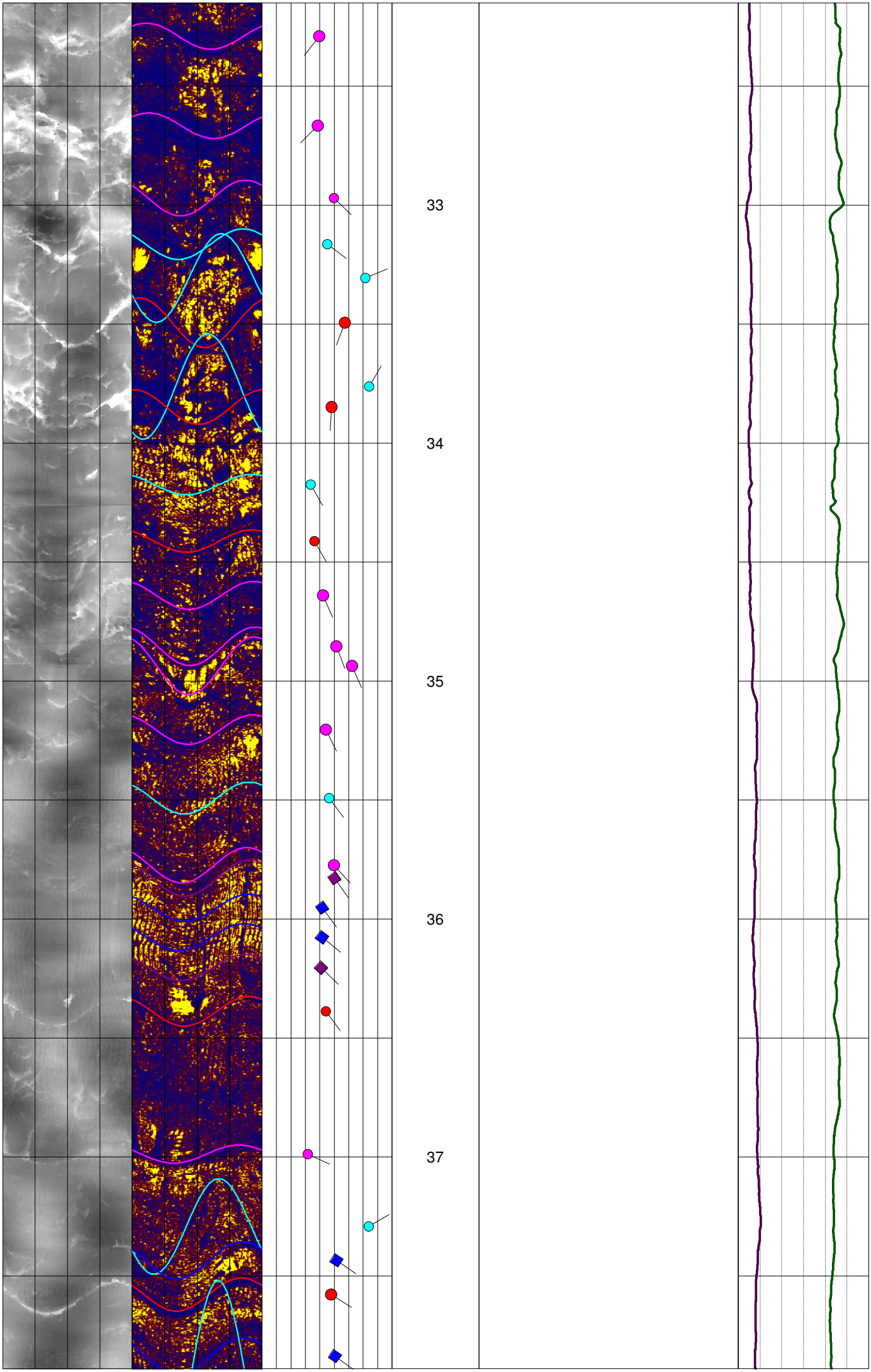
- Fracture ouverte < 2cm
- Fracture 2cm < ouverture < 5cm
- Fracture 5cm < ouverture < 10cm
- Fracture ouverte > 10cm
- Elargissement/Fracture avec remplissage épaisseur <2cm
- Elargissement/Fracture avec remplissage 2cm < épaisseur< 5cm
- Elargissement/Fracture avec remplissage 5cm < épaisseur < 10cm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

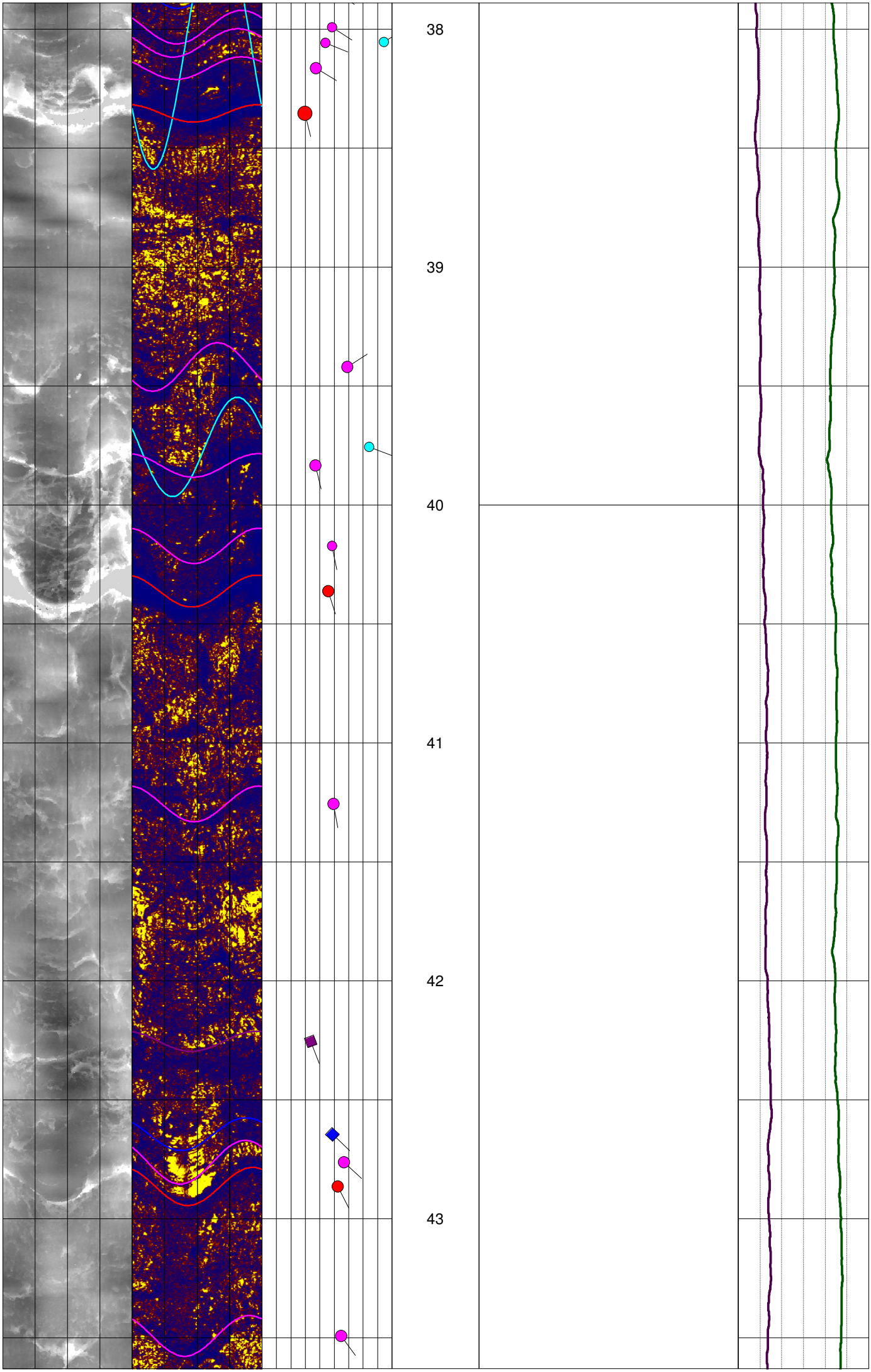


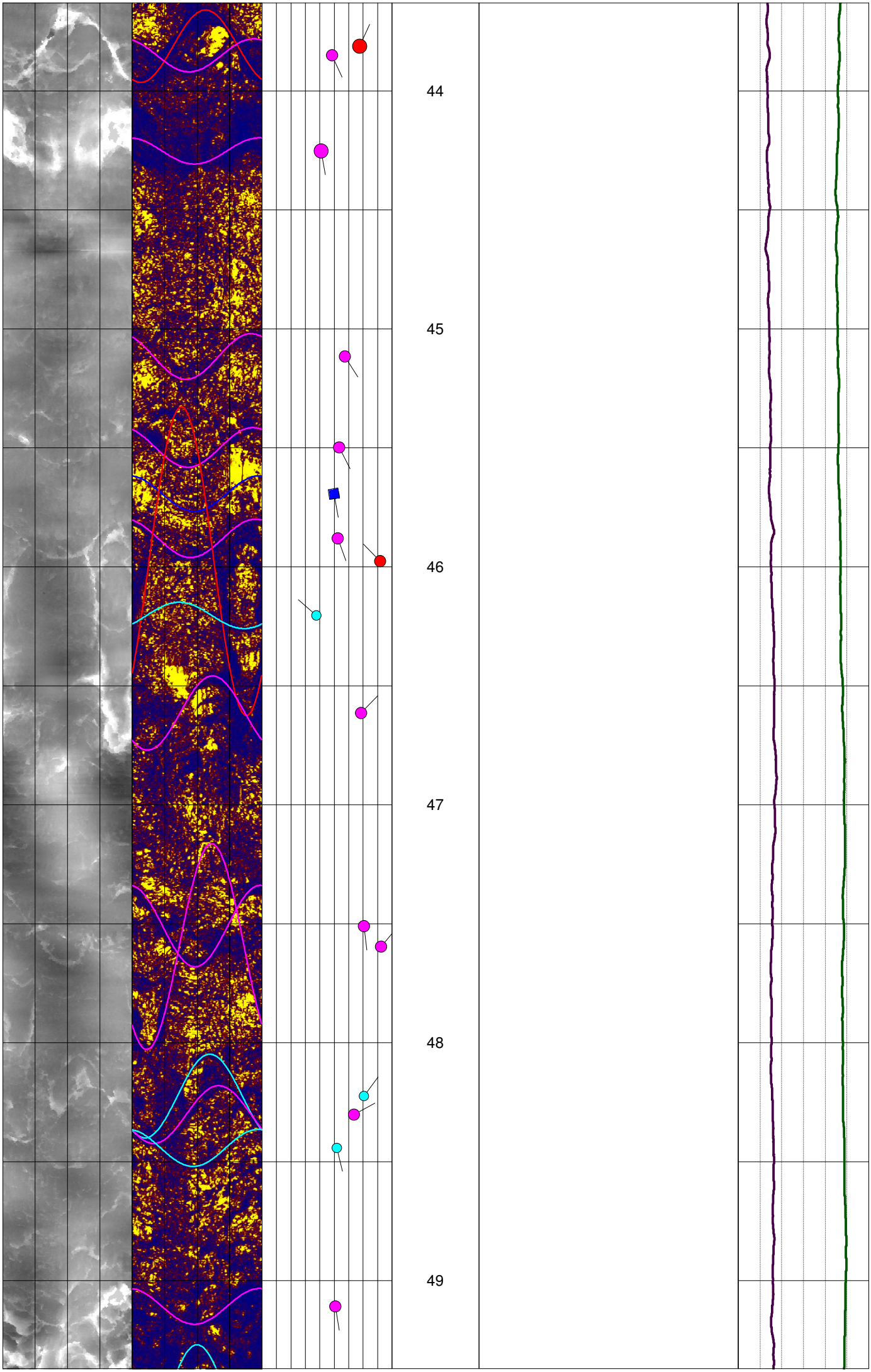

15
16
17
18
19
20

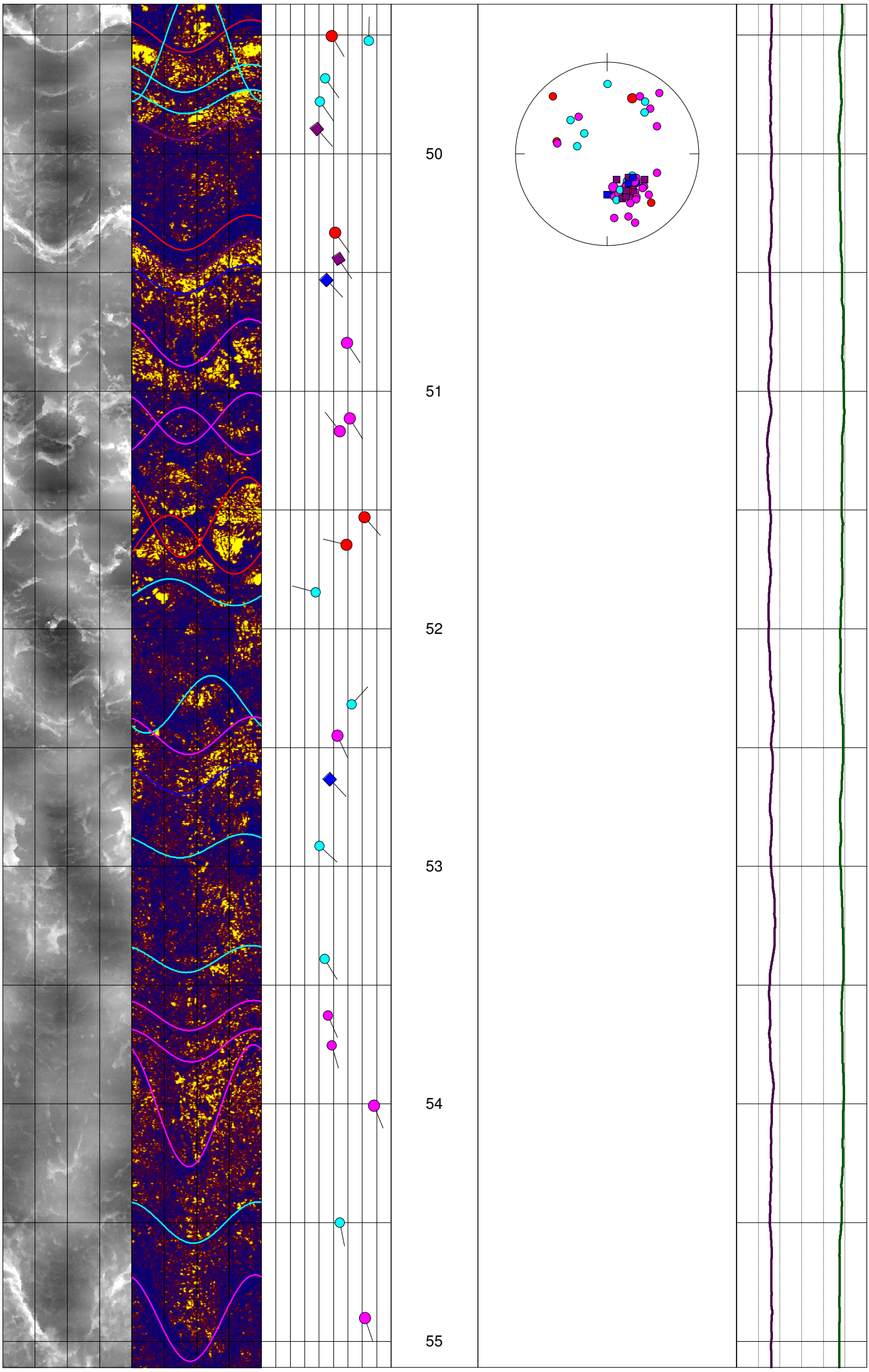

21
22
23
24
25
26

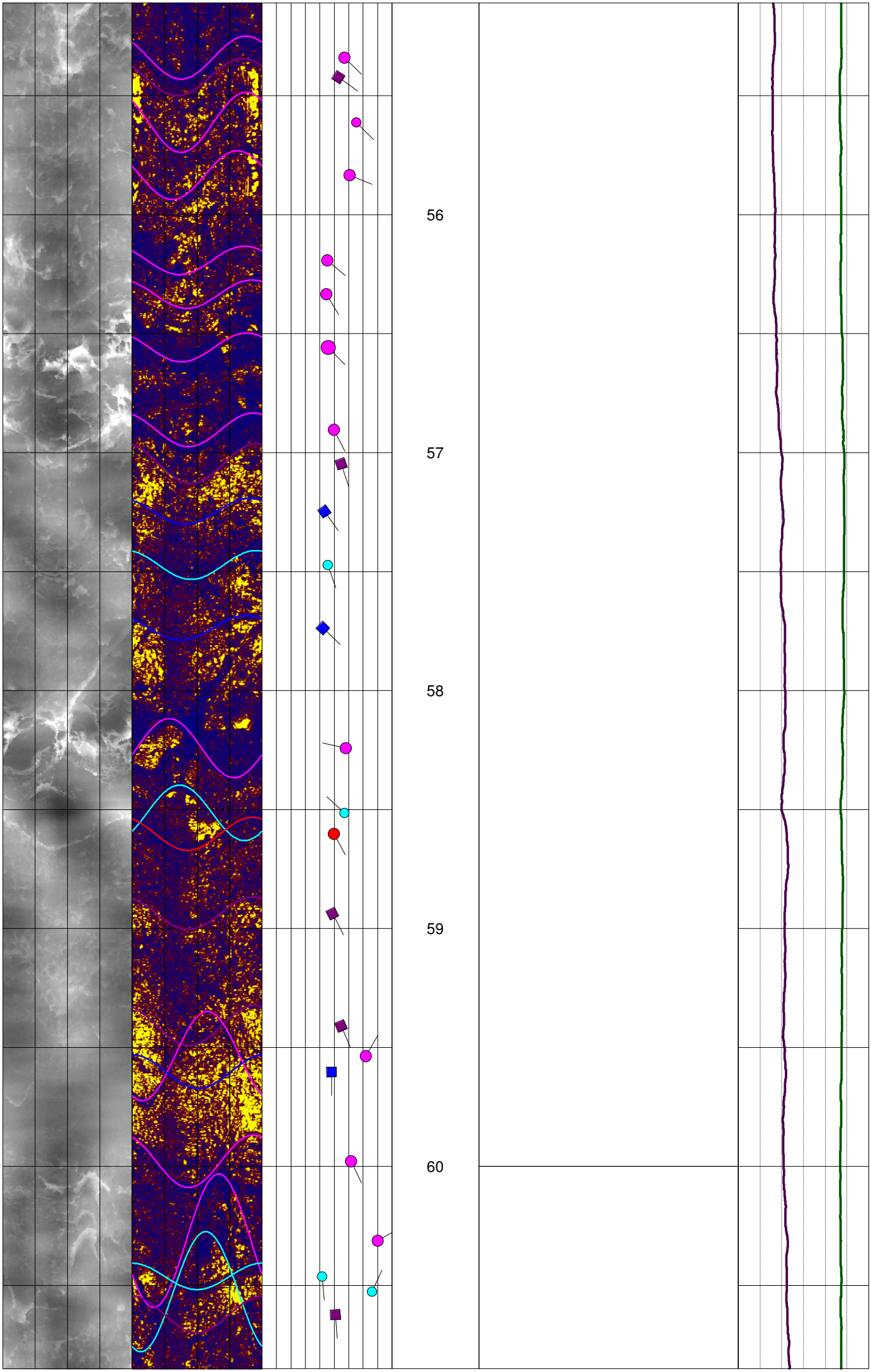

27
28
29
30
31
32

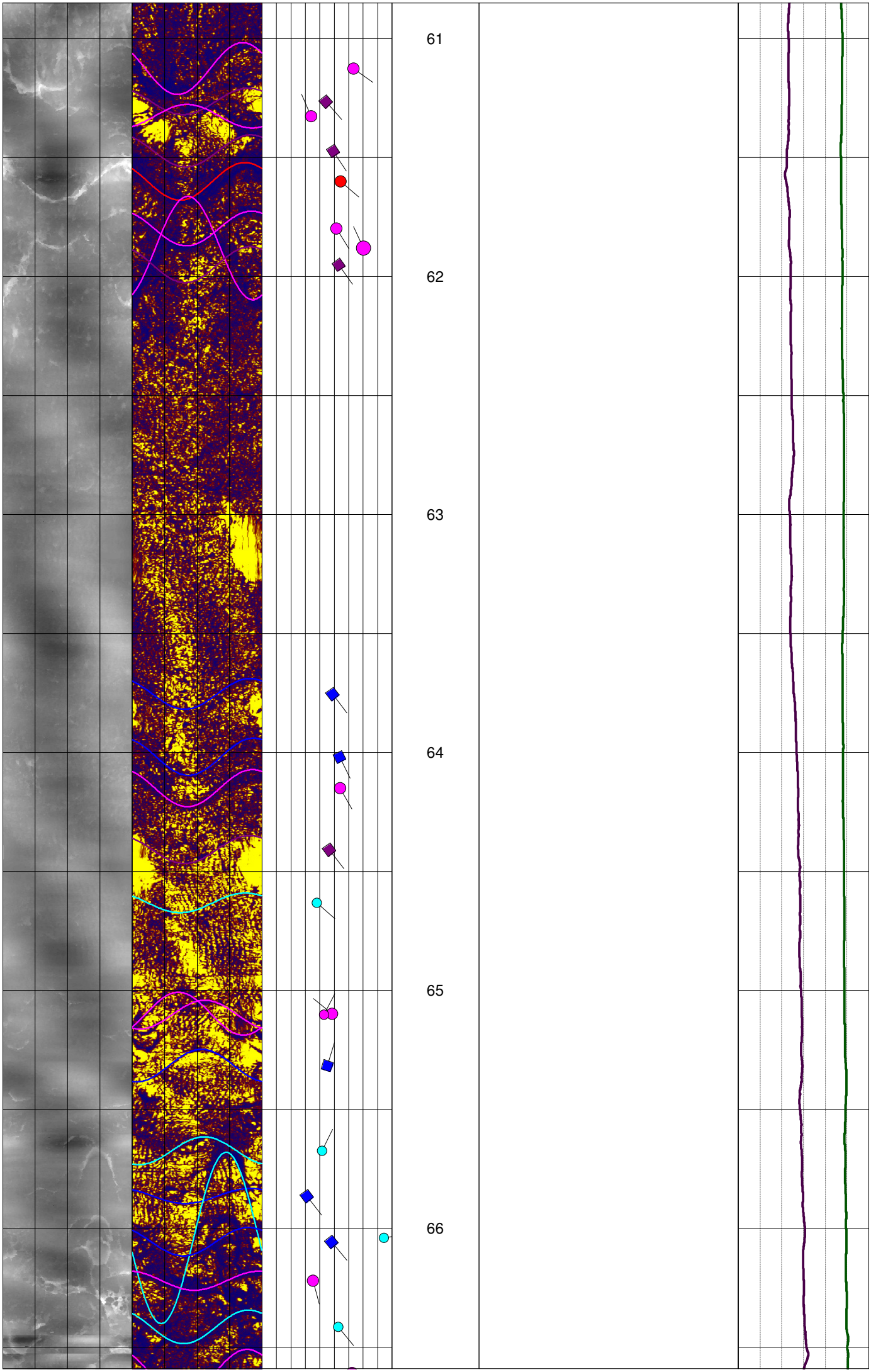

33
34
35
36
37

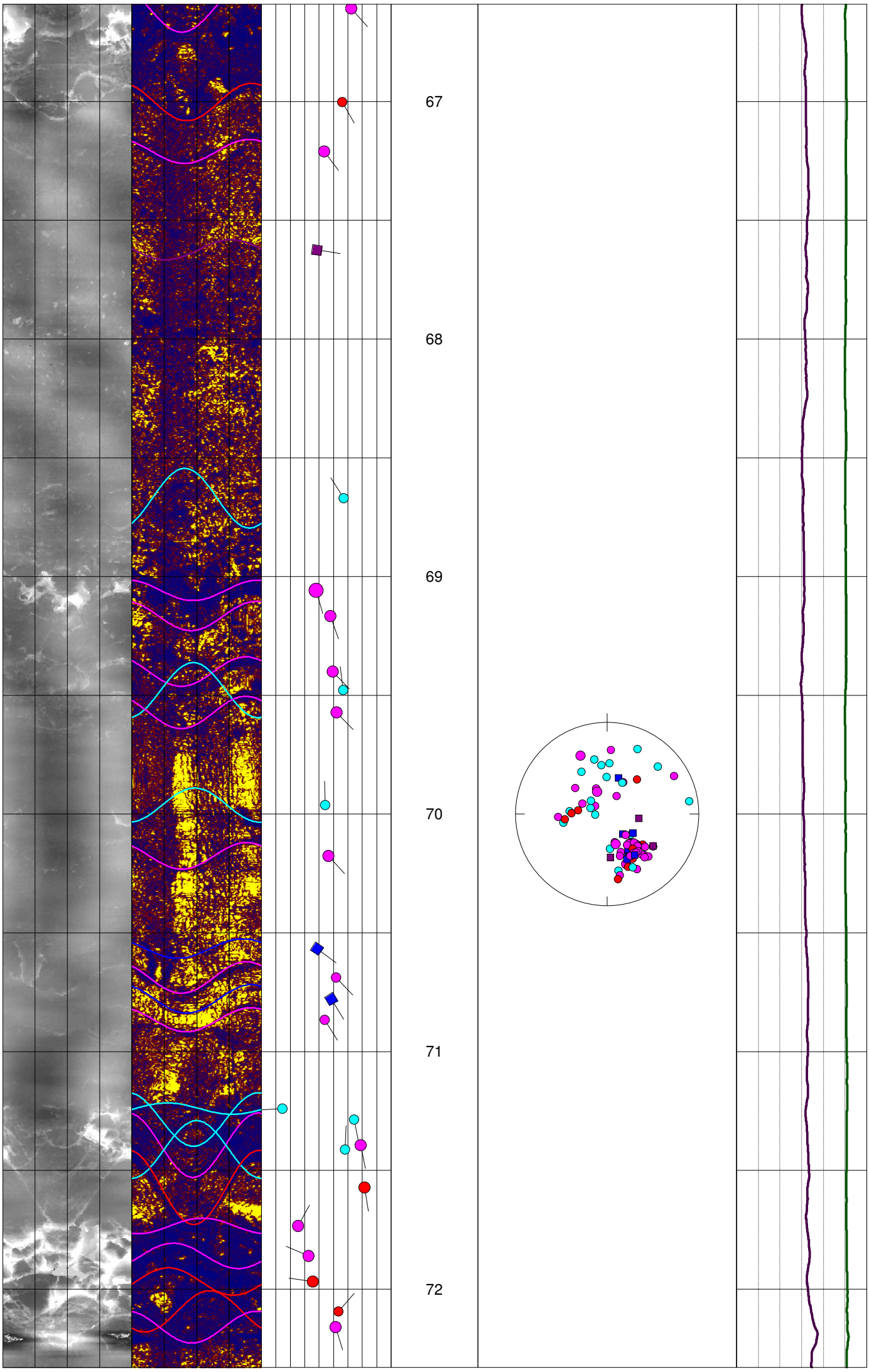

38
39
40
41
42
43

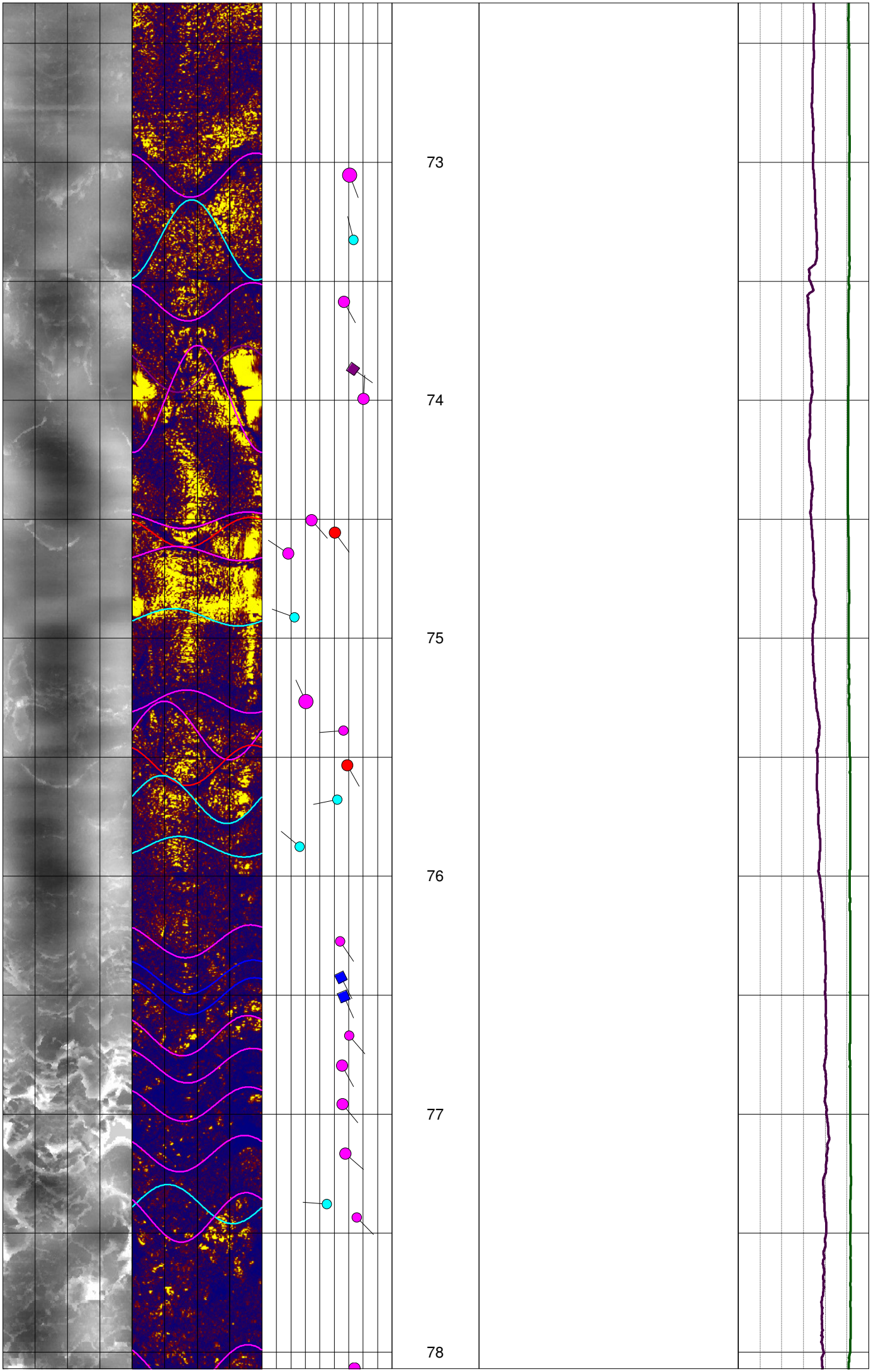

44
45
46
47
48
49

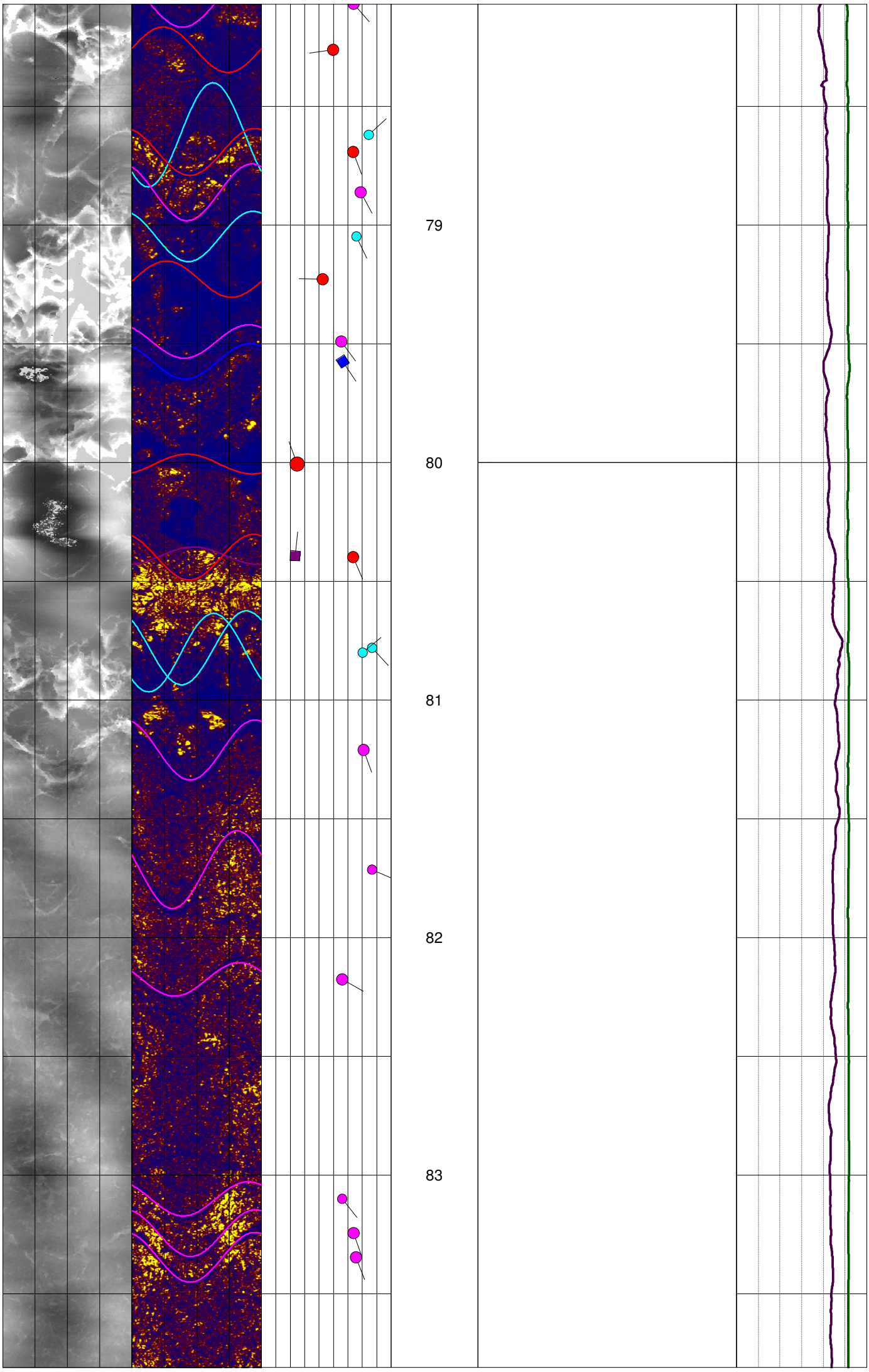

50
51
52
53
54
55

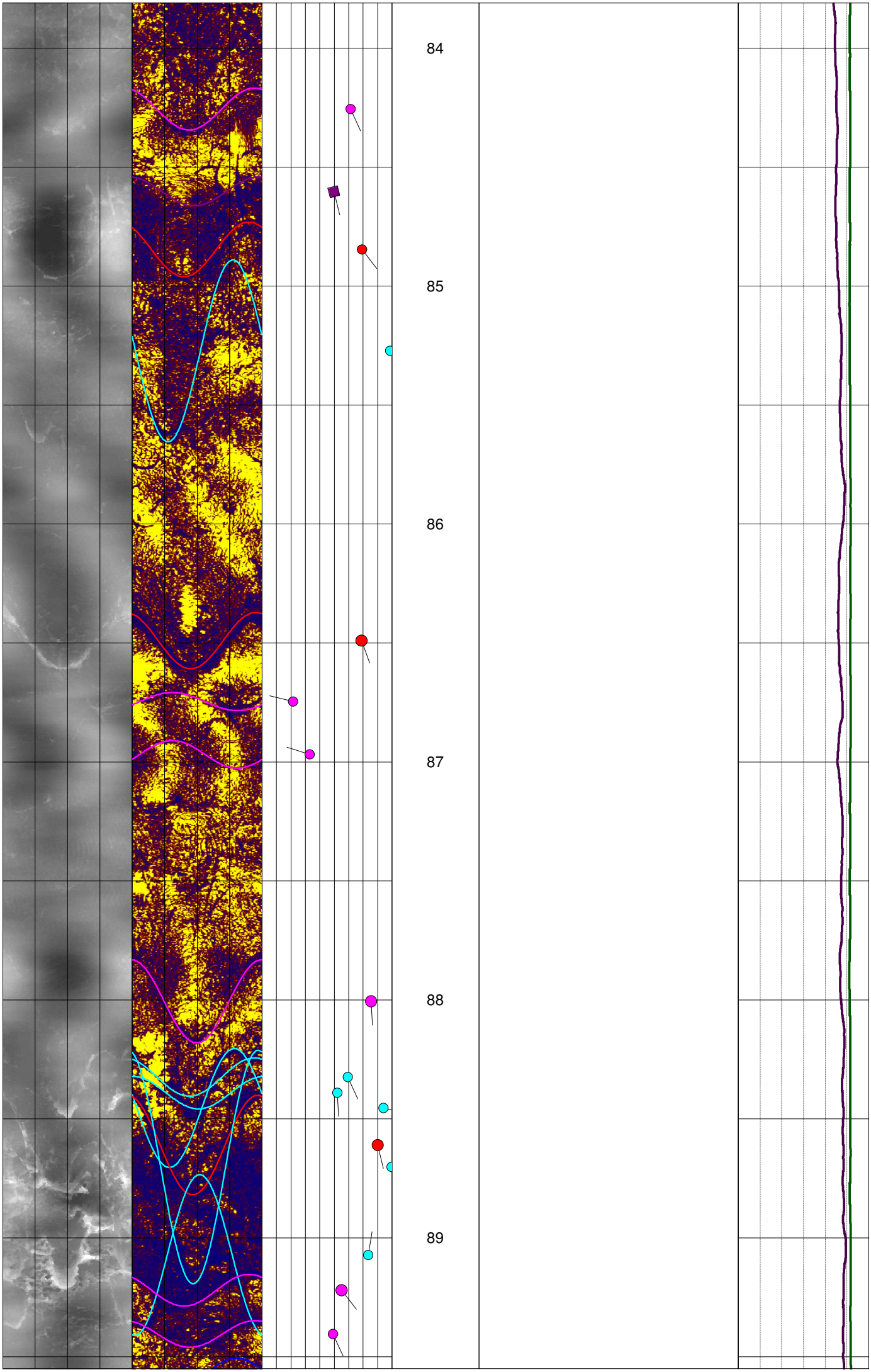

56
57
58
59
60

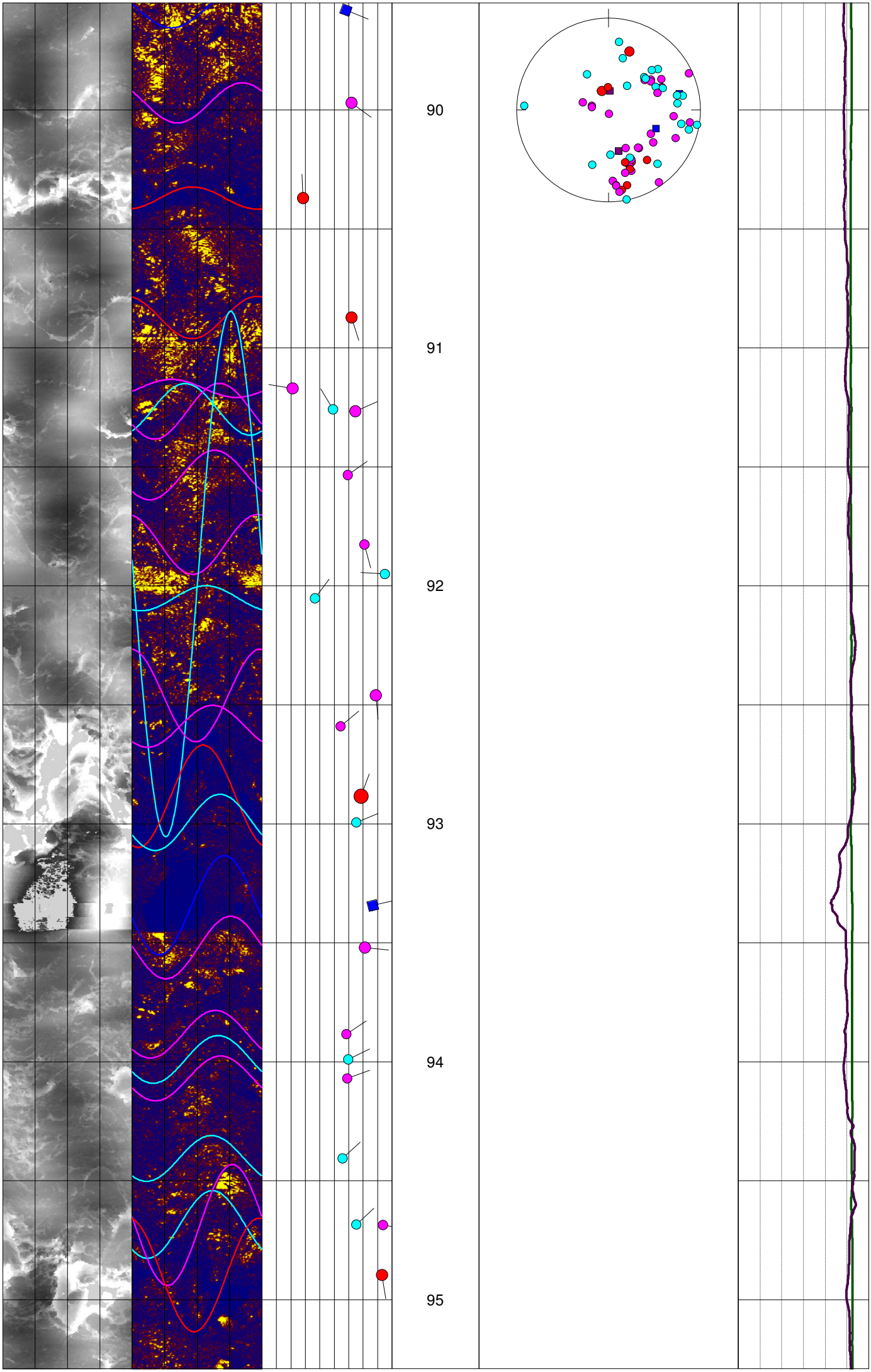

61
62
63
64
65
66

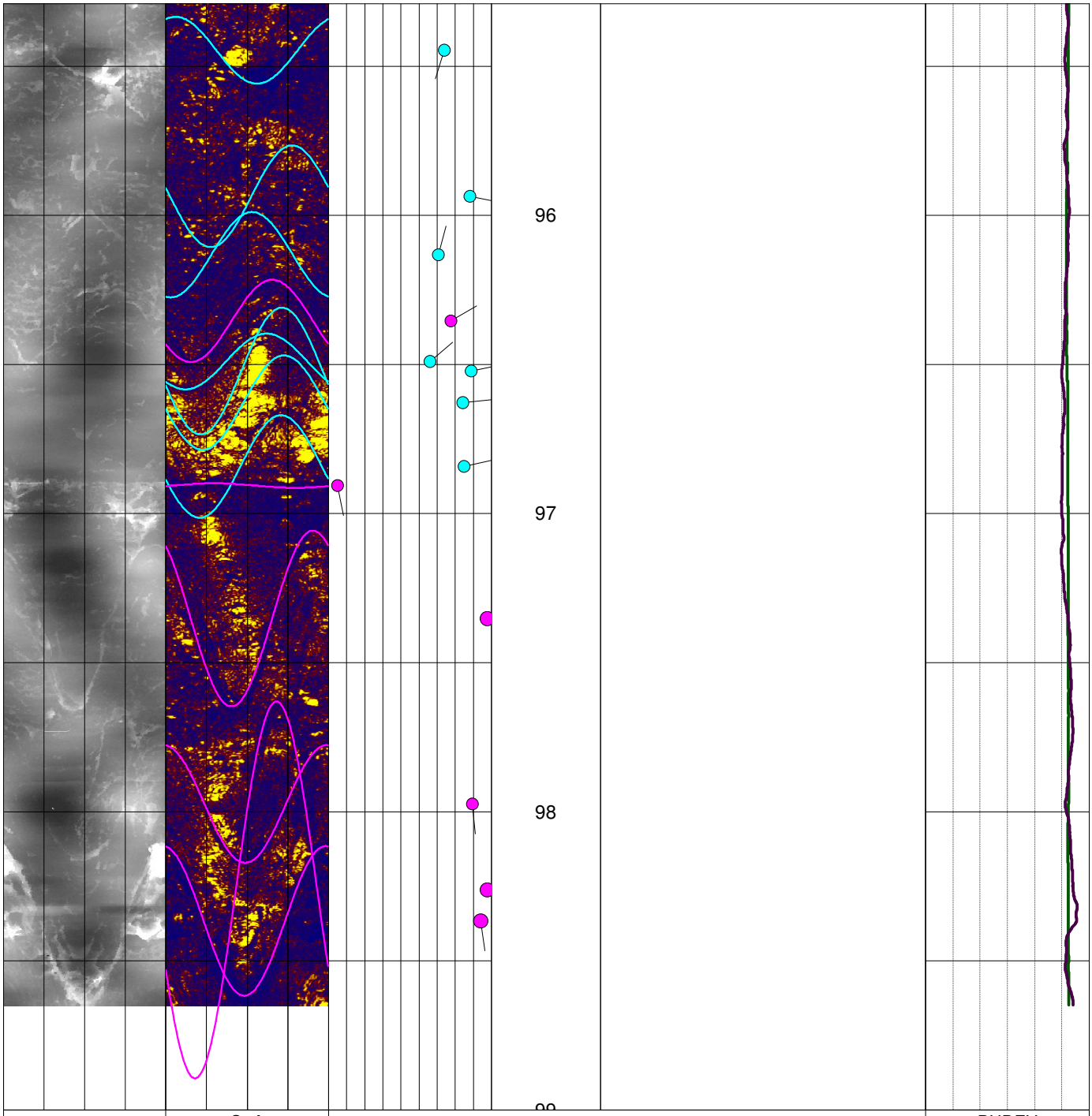

67
68
69
70
71
72


73
74
75
76
77
78

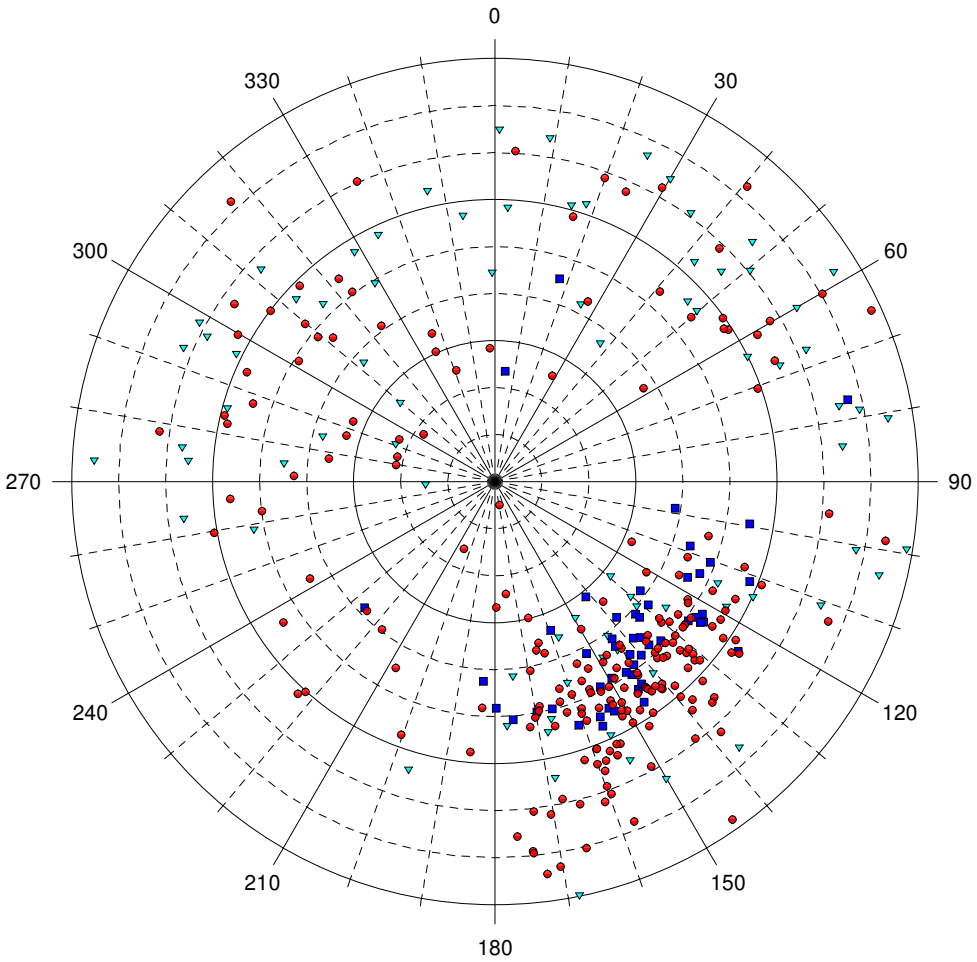

79
80
81
82
83


84
85
86
87
88
89


90
91
92
93
94
95


96
97
98
StrA
0° 90° 180° 270° 0°
BHDEV
0 °/VERT 12
TT-MagN
0° 90° 180° 270° 0°
AMP-MagN
0° 90° 180° 270° 0°
StrC
0 90
Depth
1m:20m
Stereo
BHAZ
0 °/MagN 360

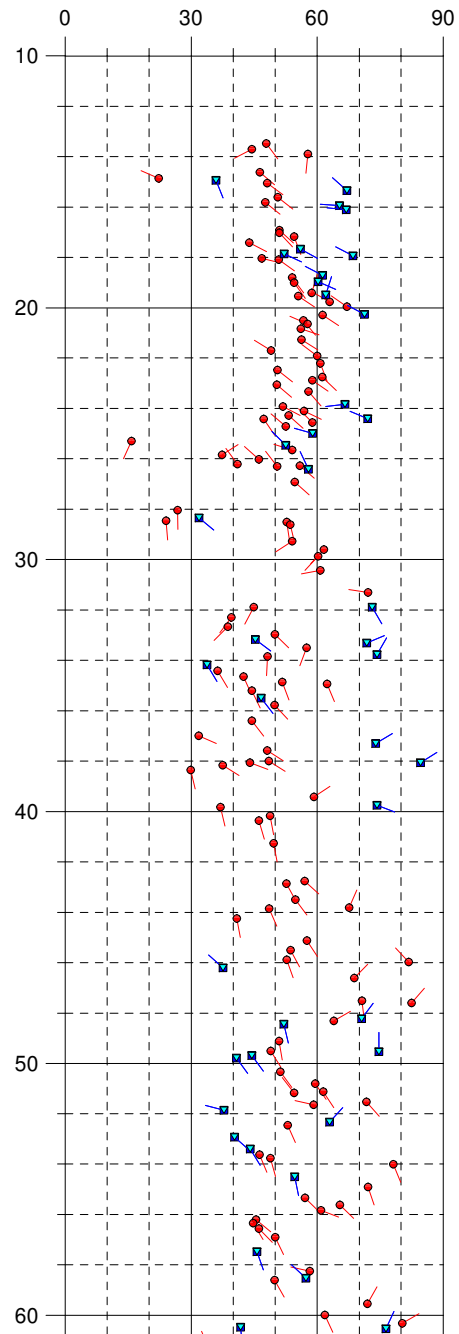
## *5.3 Annexe 3 – analyse structurale*




*Pôles des plans structuraux (Projection du Wulff Hémisphère Nord)*

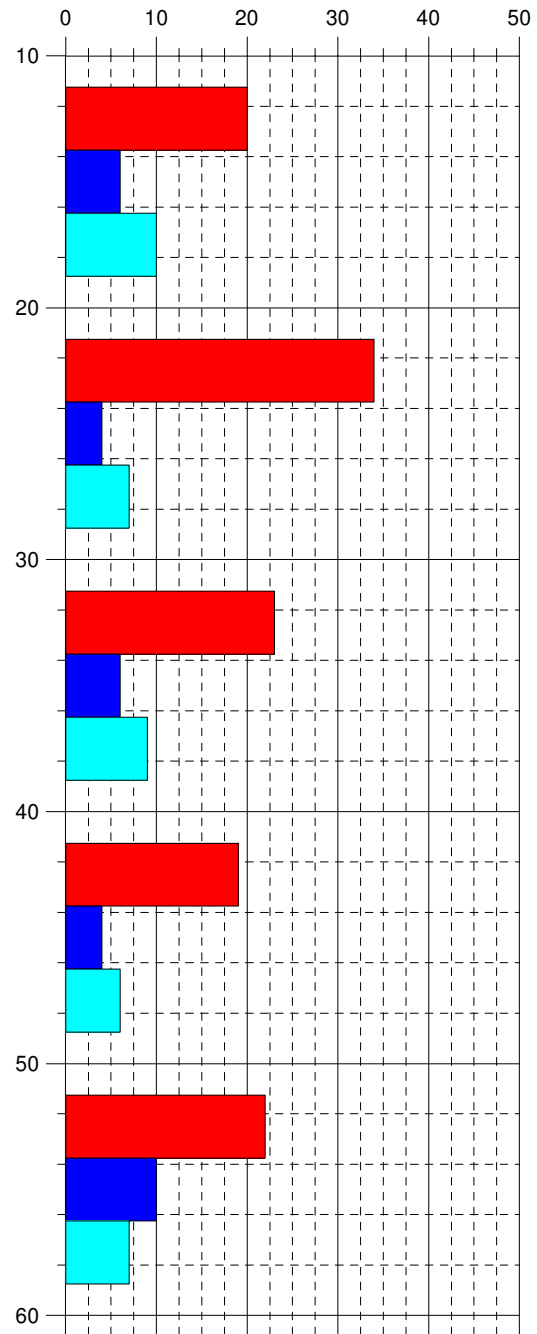
*Structure log*

**Dip angles (° from horizontal)**

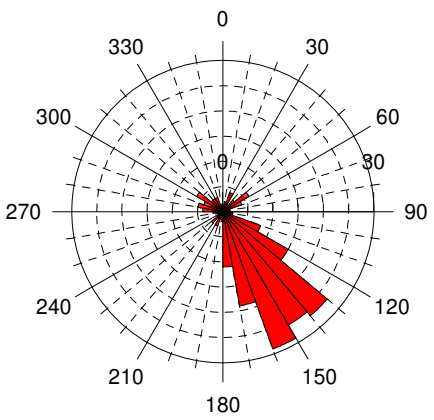



*Depth histogram*

**Count**

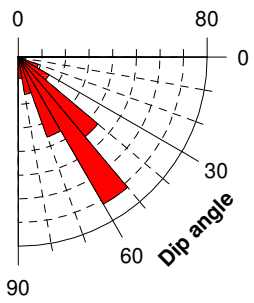



*Azimuts - Fractures*

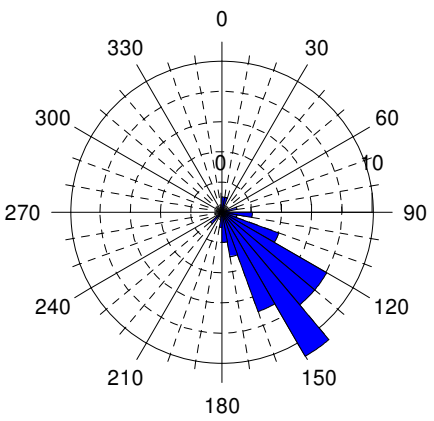



*Pendages - Fractures*

**Count**

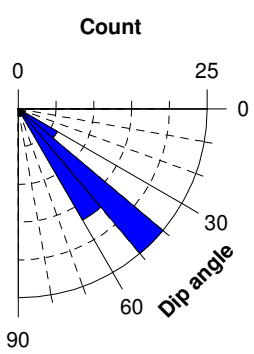



*Azimuts - Strati/foliation/contacts*

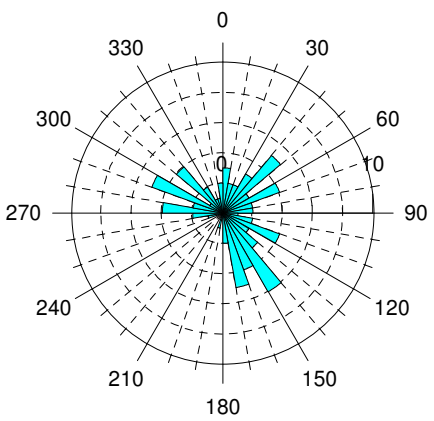



*Pendages - Strati/foliation/contacts*

**Count**

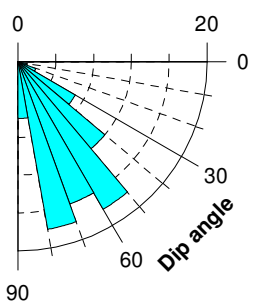



*Azimuts - Incomplète/indéterminé*




*Pendages - Incomplète/indéterminé*

**Count**




*Légende*

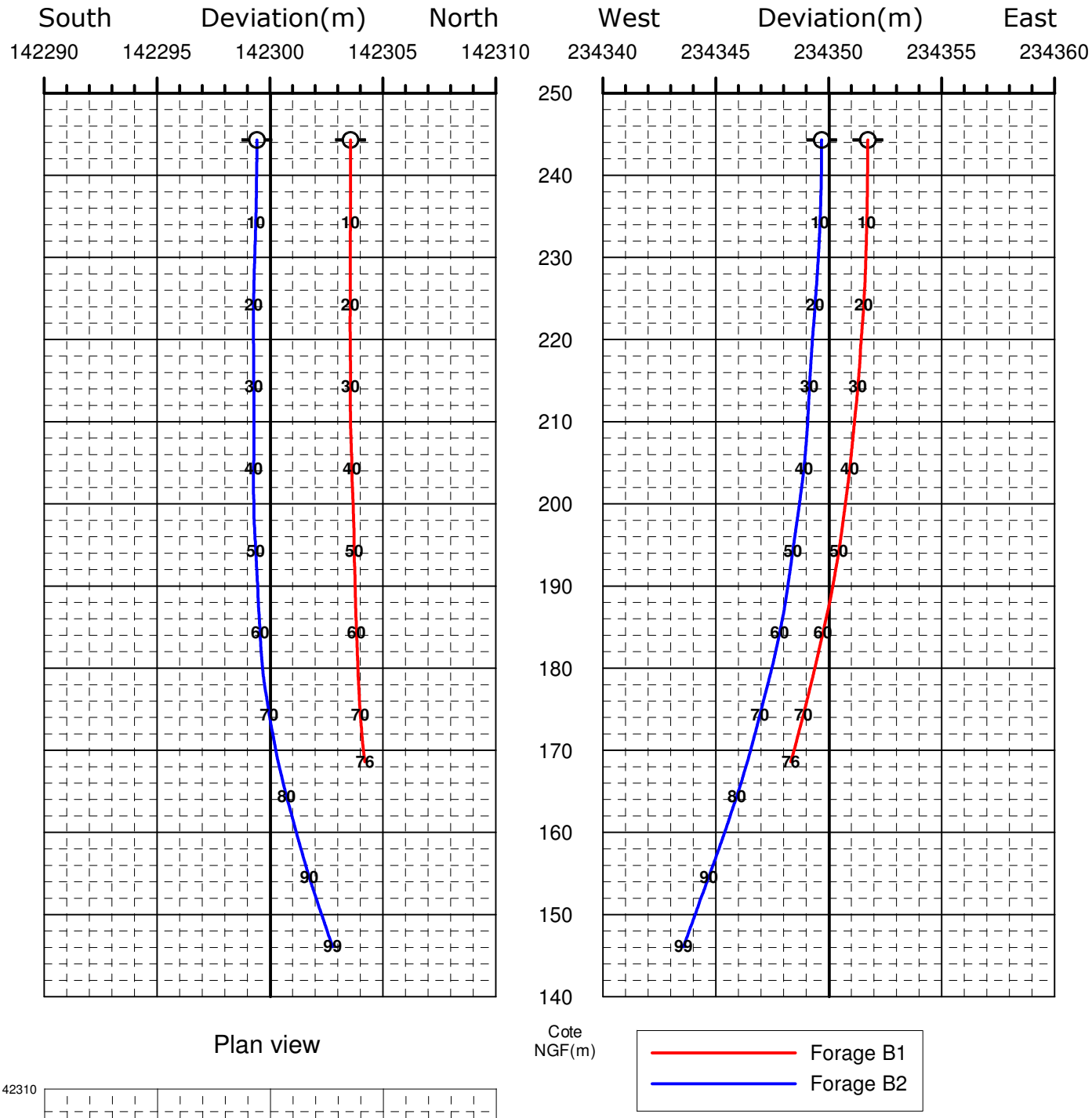
- Fractures
- Strati/foliation/contacts
- Incomplète/Indéterminé

## *Données structurales(BHTV)*

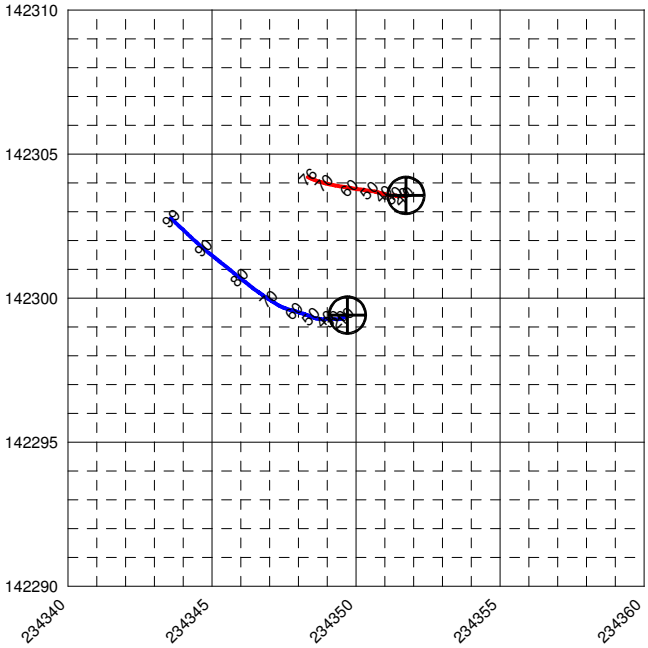
| | |
|---|---|
| **Forage:** | **B2** |
| **Site:** | Sart Tilman |
| **Client:** | Université de Liège |
| **Date:** | 12.06.2013 |
| **Intervalle:** | 13.3 - 98.6 m |

**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**

**Site:** CAMPUS SART TILMAN

**Client:** ULg

**Date:** 12 & 18/06/2013

**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*

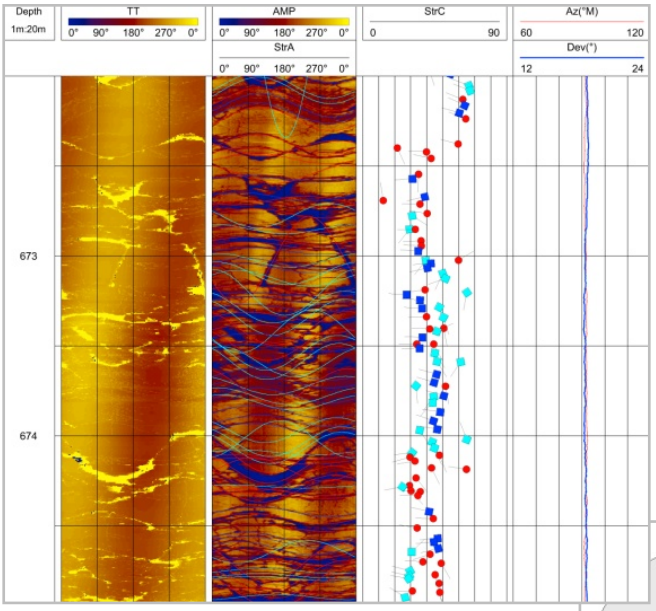
# Logging Instrumentation Mesure

# FICHE TECHNIQUE

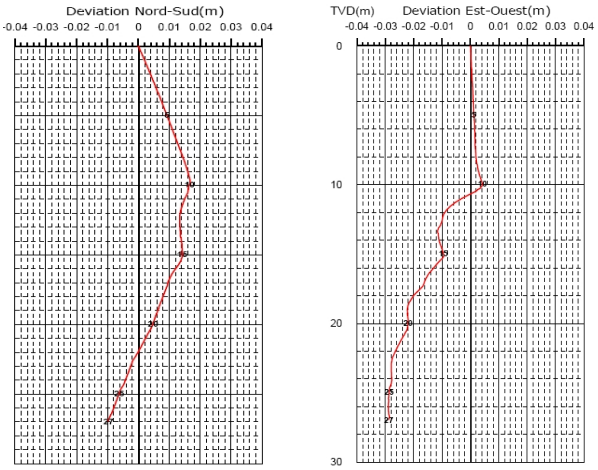
## BoreHole TeleViewer 43

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.

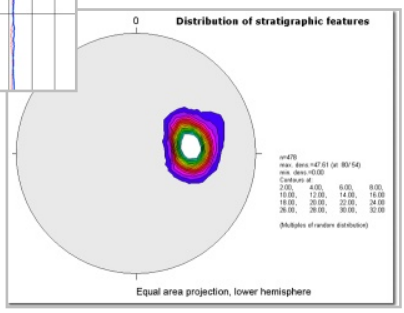
Un logiciel de traitement peut encore affiner l'image, et permettre une analyse très poussée de certaines zones d'intérêt.

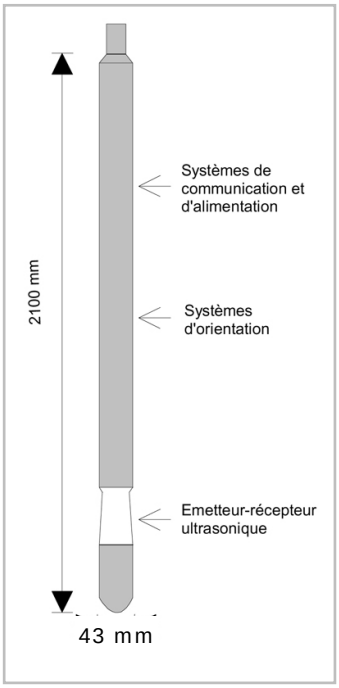



Vues des formations (quantité et orientation des fractures)




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