

Fig.II-2-1-69 2D Analysis sections at Khefawna area (a line)

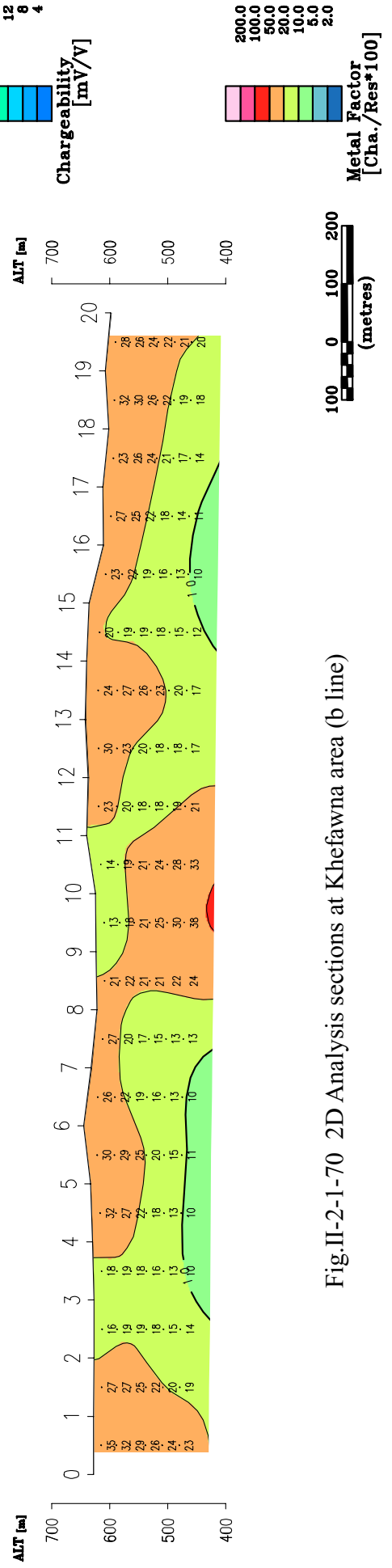
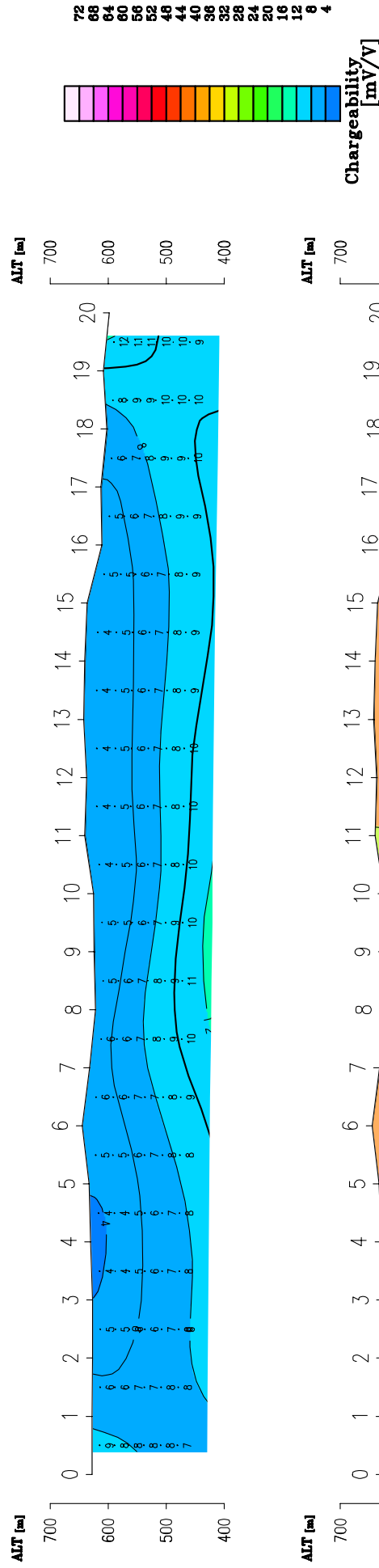
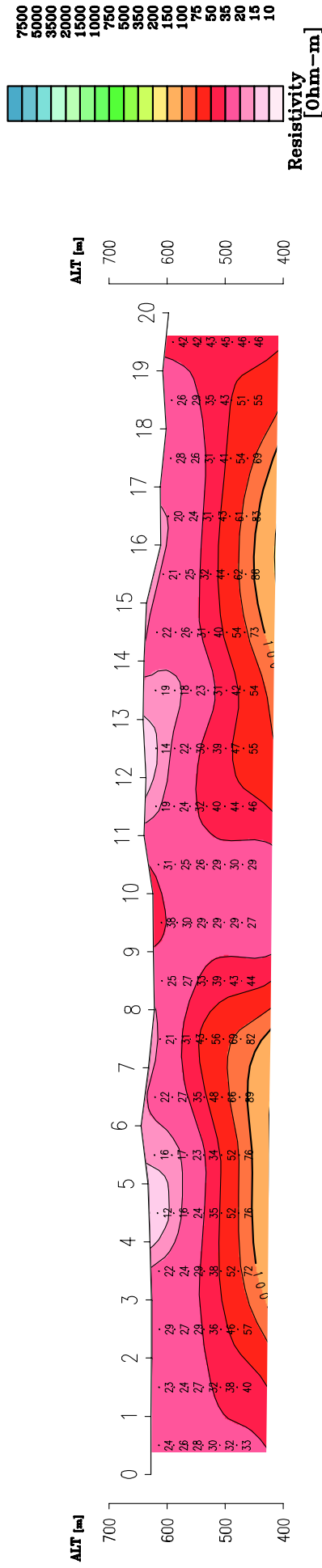


Fig.II-2-1-70 2D Analysis sections at Khefawna area (b line)

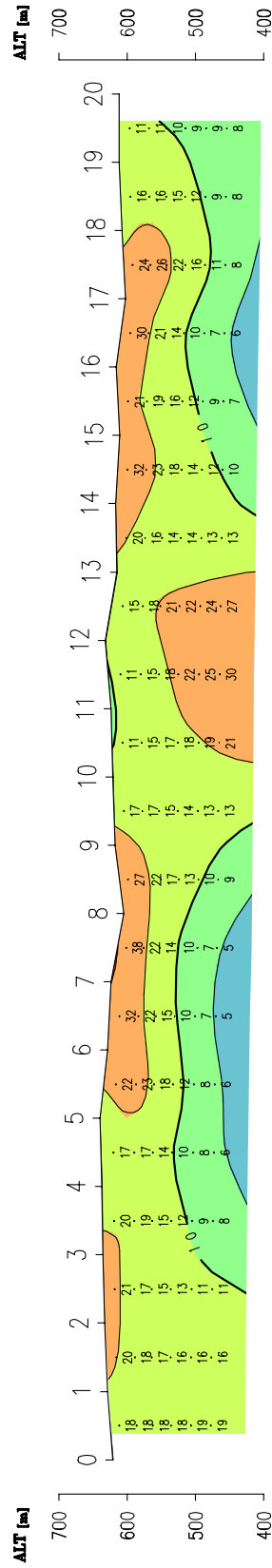
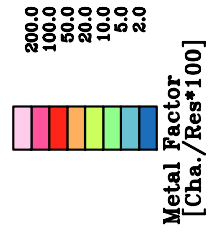
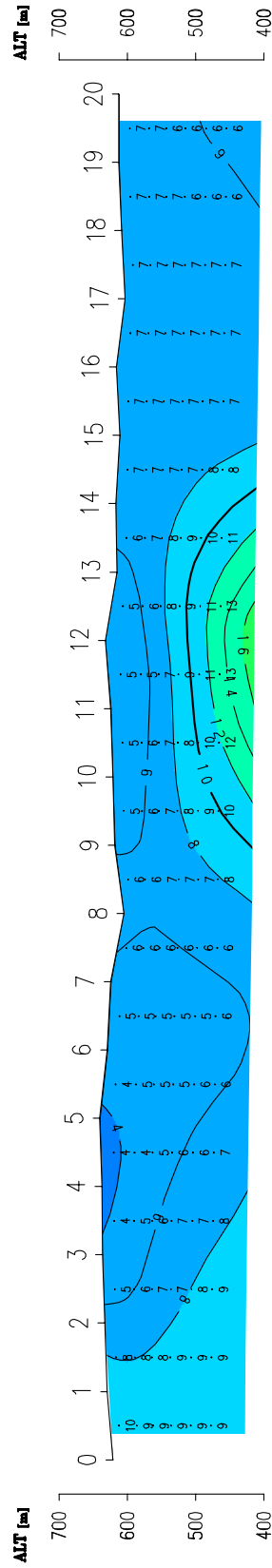
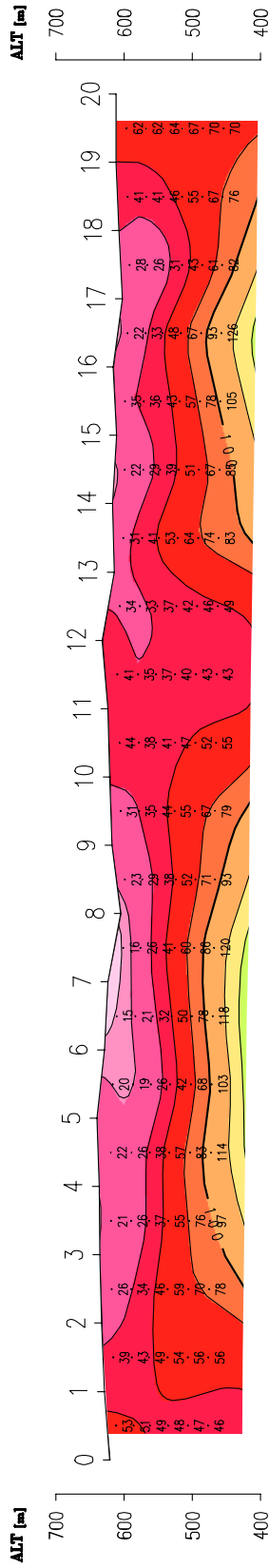
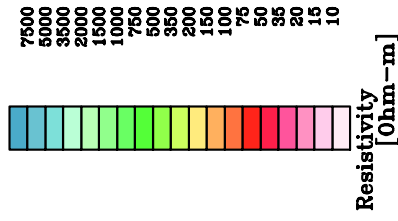


Fig.II-2-1-71 2D Analysis sections at Khefawna area (c line)

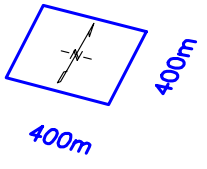
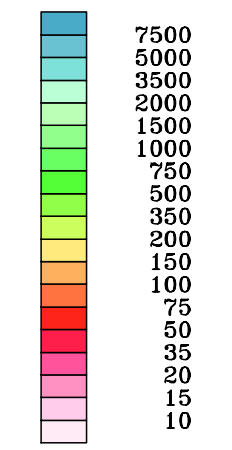
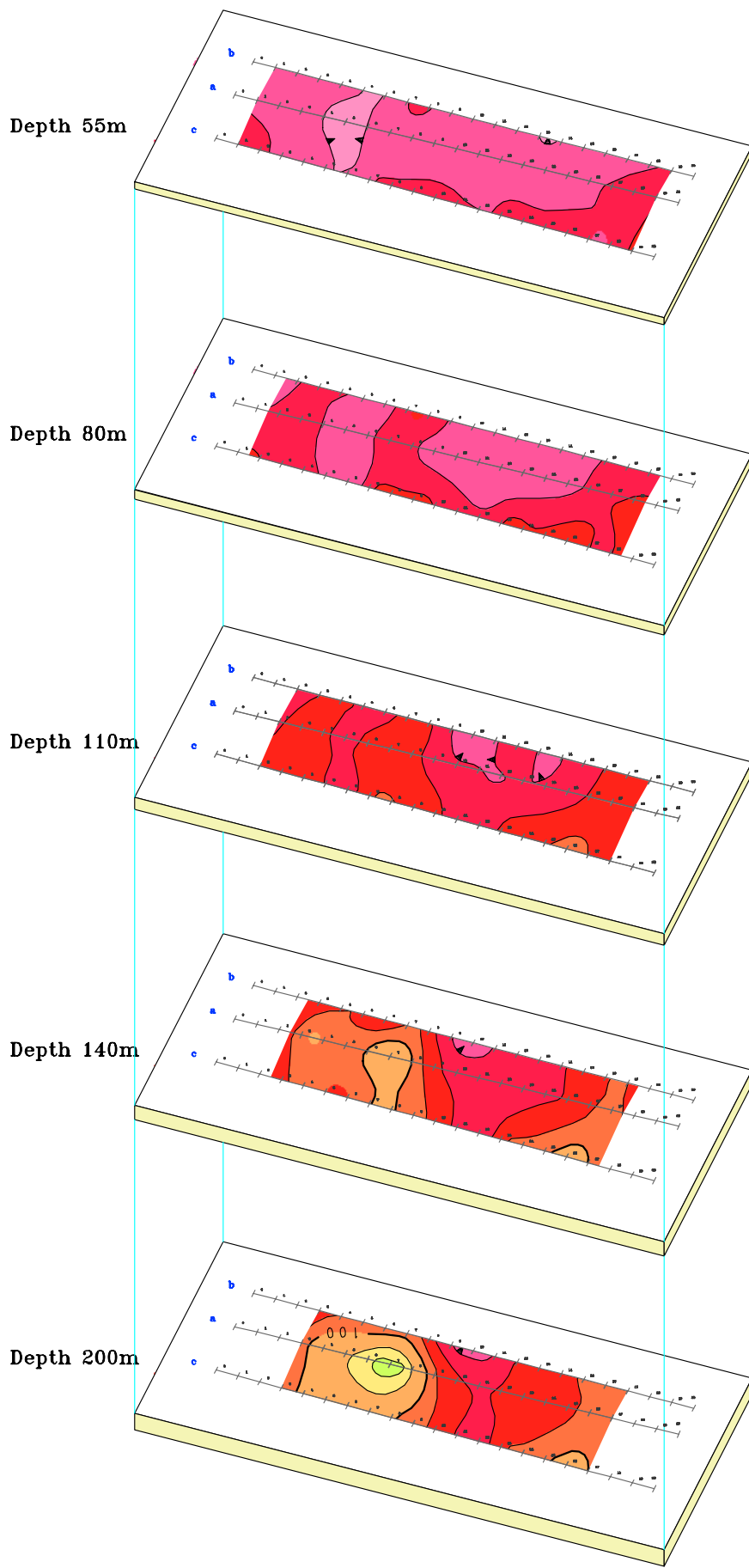


Fig.II-2-1-72 2D Analysis plane map of resistivity at Khefawna area

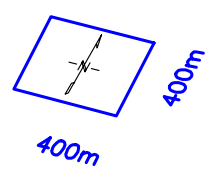
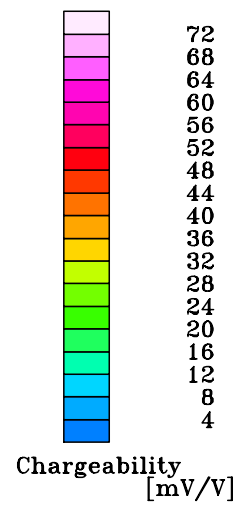
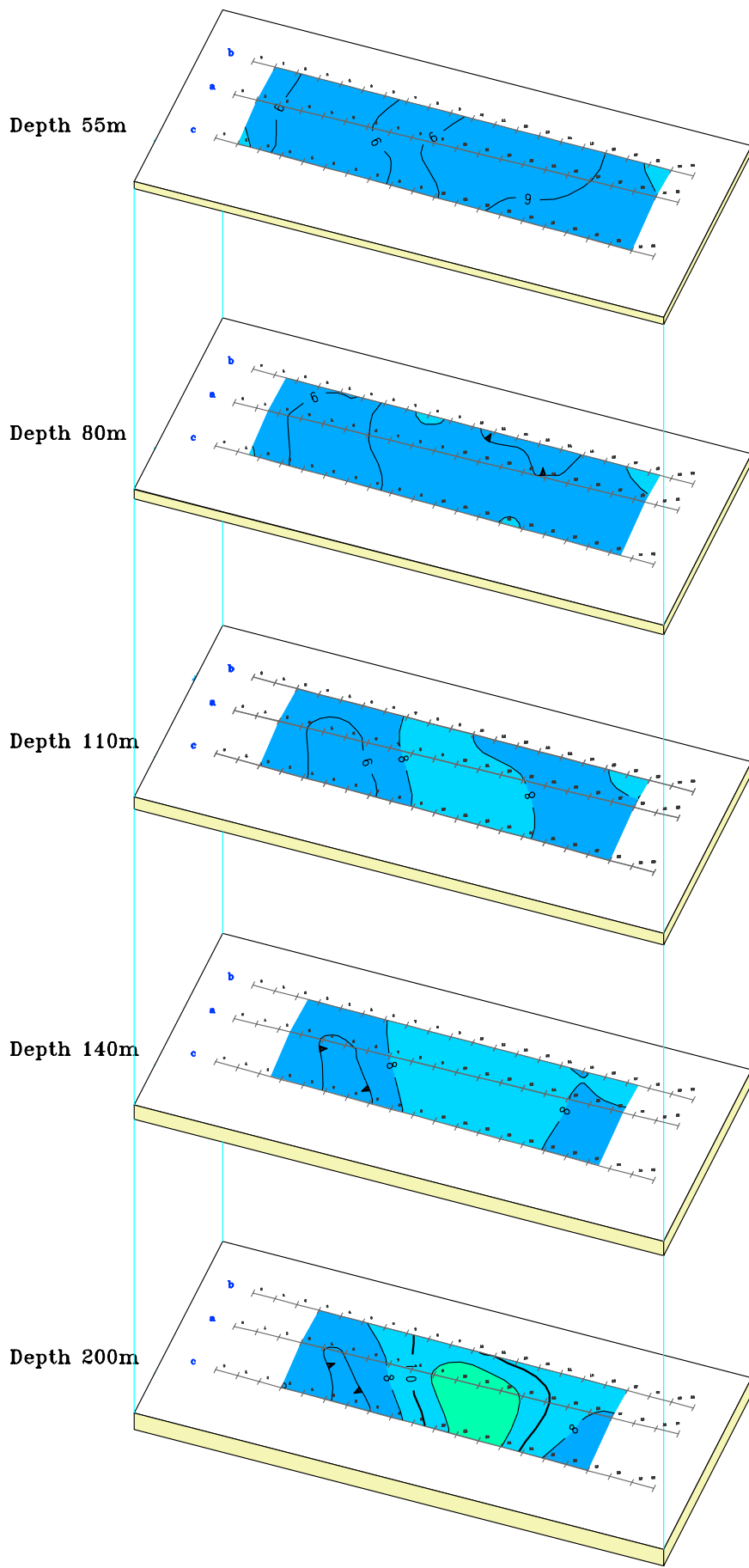
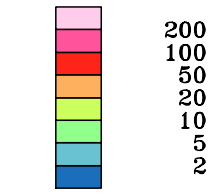
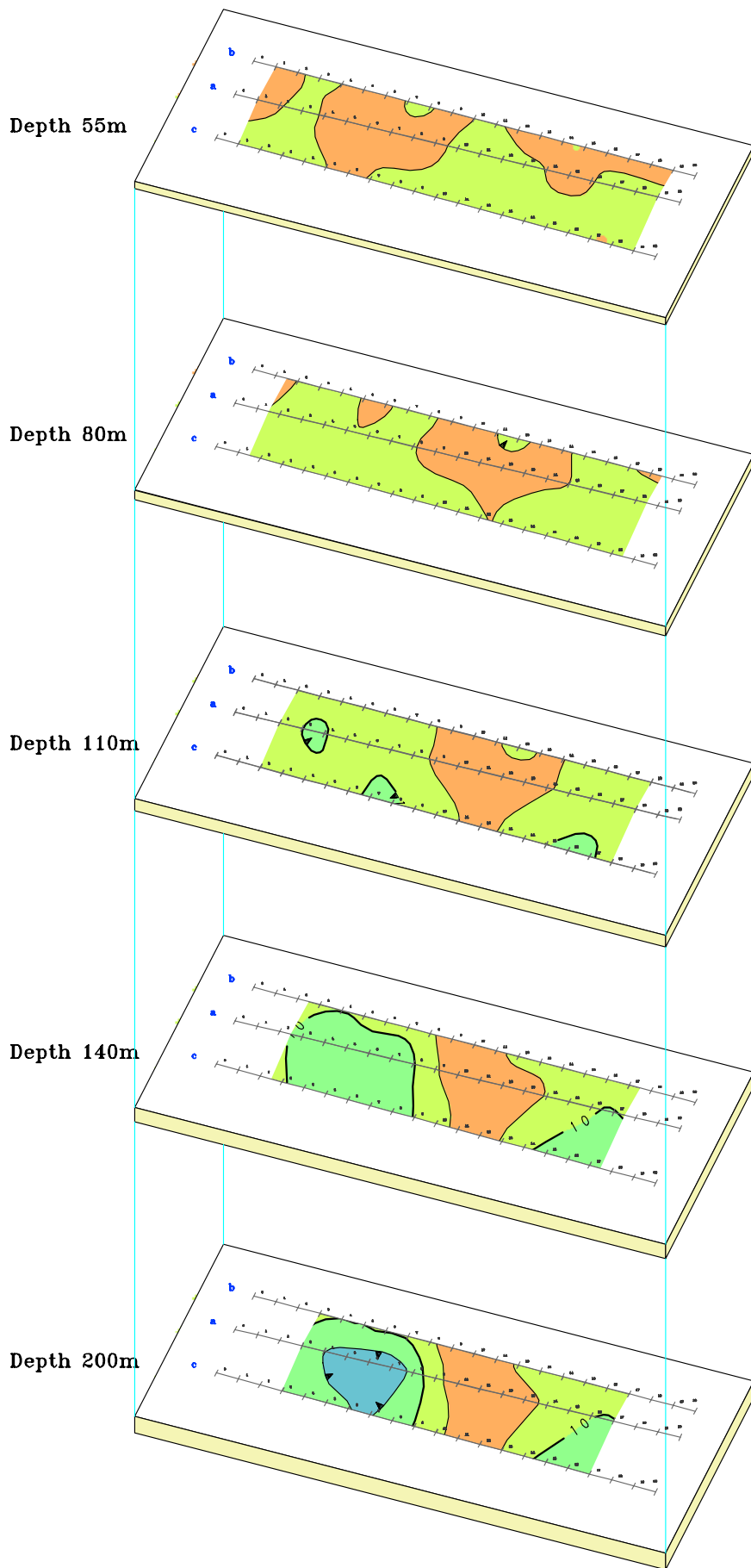


Fig.II-2-1-73 2D Analysis plane map of chargeability at Khefawna area



Metal Factor

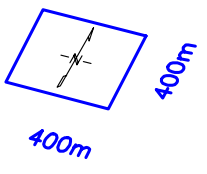


Fig.II-2-1-74 2D analysis plane map of metal factor at Khefawna area

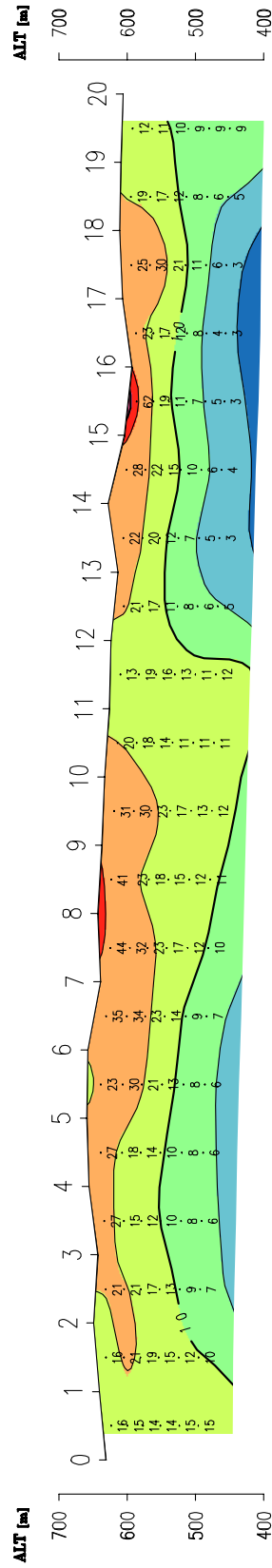
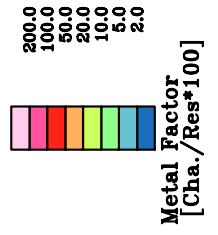
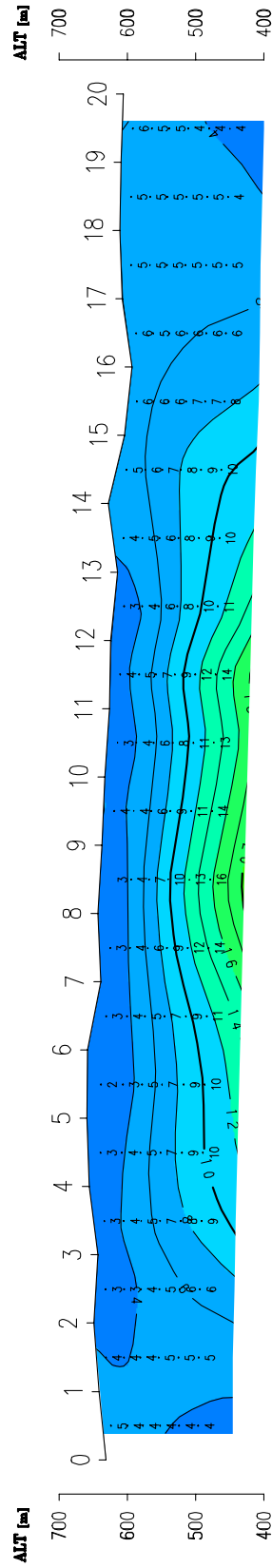
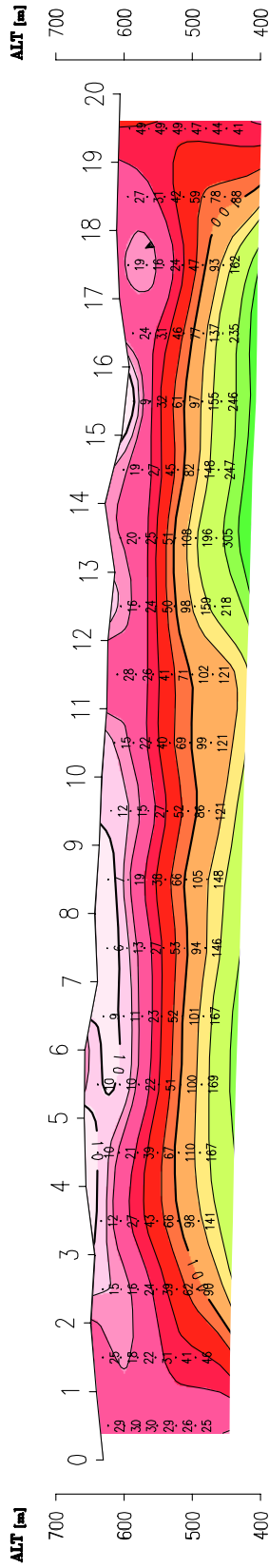
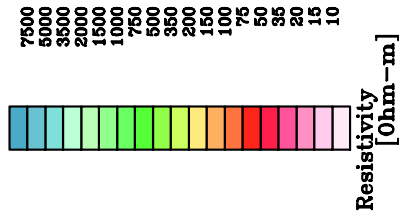


Fig.II-2-1-75 2D Analysis sections at Talzelt area (a line)

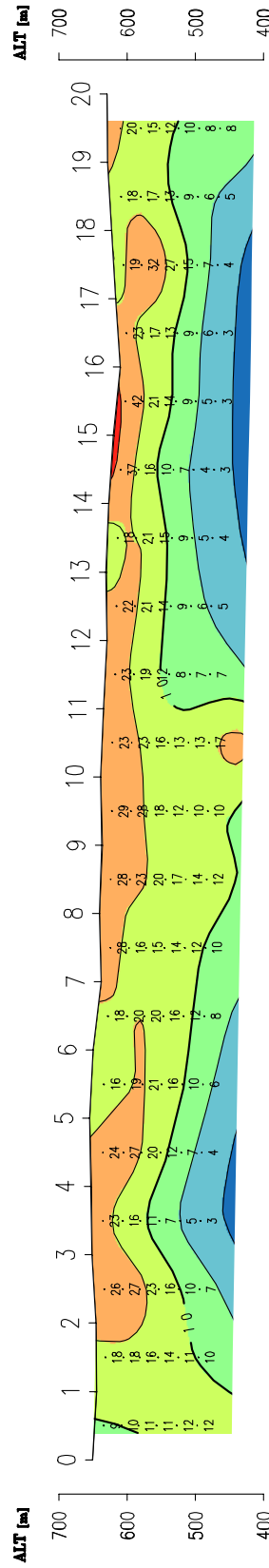
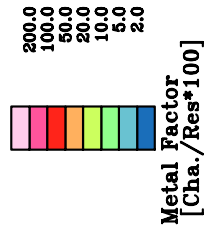
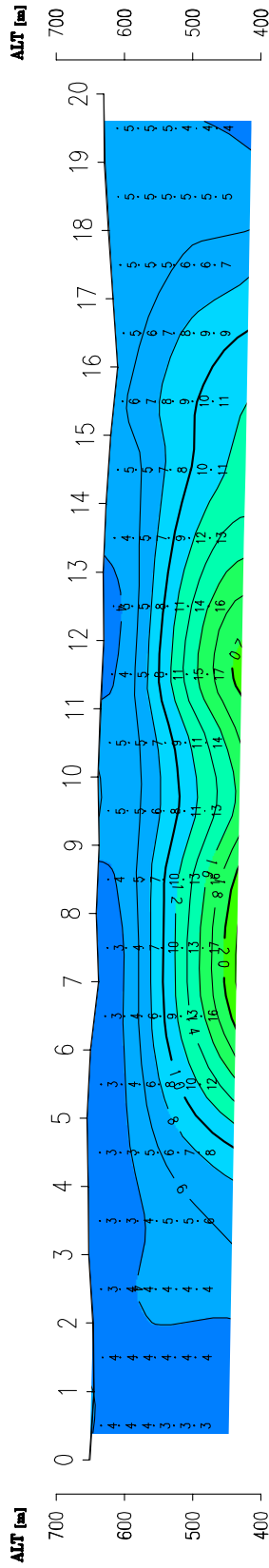
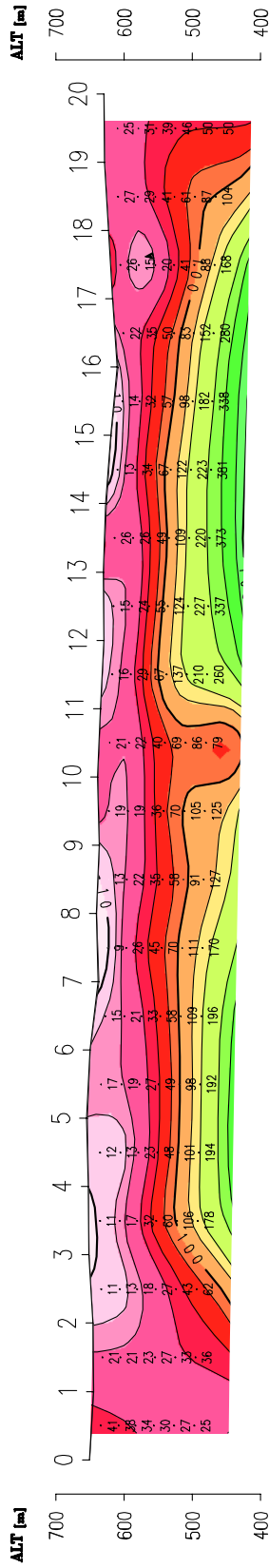


Fig.II-2-1-76 2D Analysis sections at Talzelt area (b line)

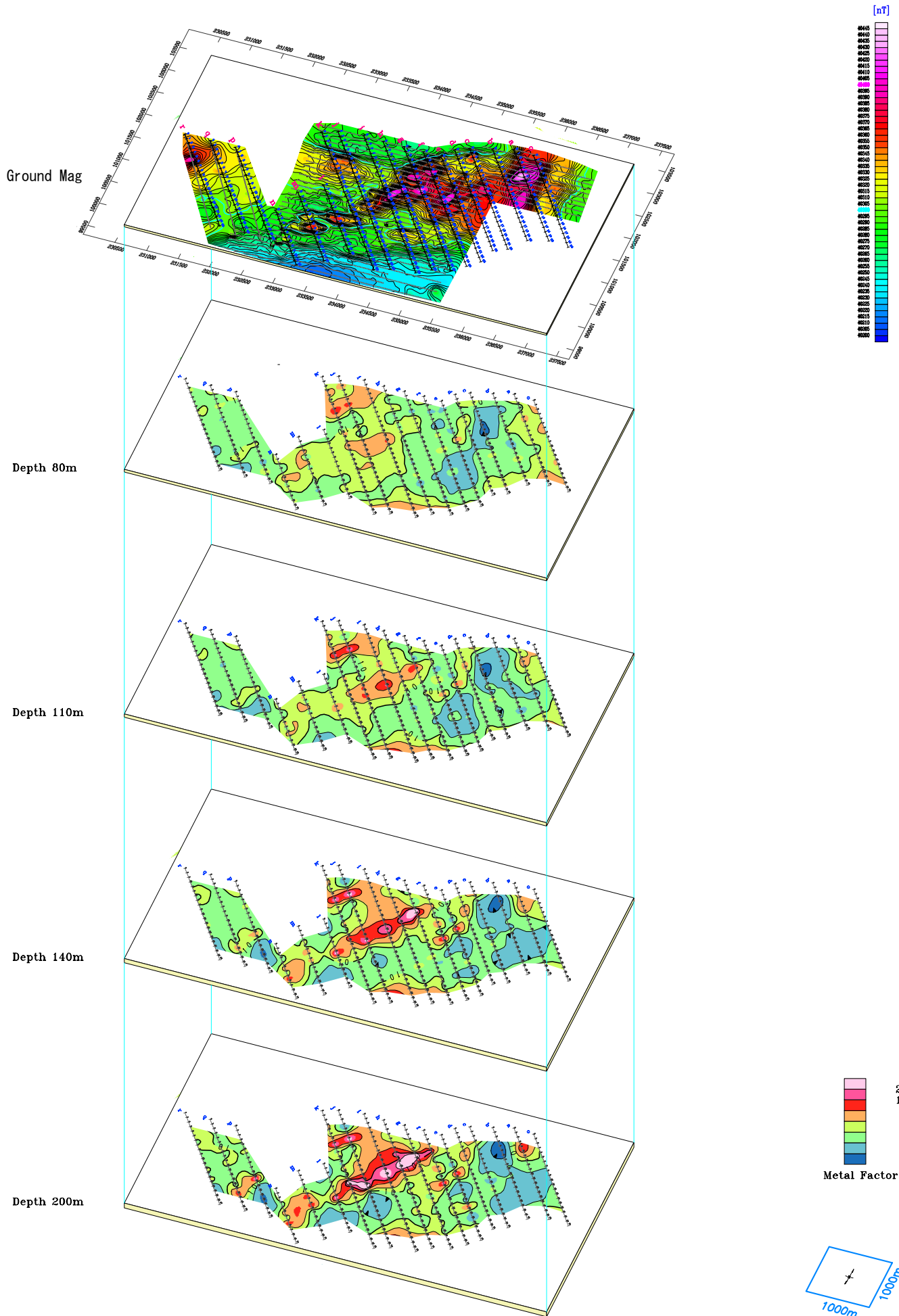


Fig.II-2-1-78 Grand mag and IP anomaly at Azzouz area

2-2 電磁探査 TEM 法

2-2-1 調査の目的

電磁探査 TEM 法(以下 TEM 法)は IP 法探査で抽出された IP 異常域周辺において比抵抗構造の詳細を明らかにすること、鉱体存在可能性地点の抽出を行なうことを目的としている。特に今回の調査地は IP 異常域および磁気異常域が重なっており、この異常域の深部方向への広がりを捉えることを目的として実施された。

2-2-2 調査位置および調査量

TEM 法は、IP 法調査が実施された 6 地区の内、Azzouz 地区および Khefawna 地区において実施した。Azzouz 地区では、地区中央付近において南北方向に伸長する高 IP 異常が確認され、さらに高磁気異常とも重なることから、その異常域に対して TEM 法を実施した。その測点位置図を Fig. II-2-2-2 に示す。この Azzouz 地区では、一部において測定信号の極性が反転する現象が認められたため、さらに送受信配置を変えた測定も実施した。

Khefawna 地区においては、高磁気異常が確認された異常域に対して TEM 法を実施した。TEM 法の調査量を Table II-2-2-1 に示す。

Table II-2-2-1 Number of TEM survey stations

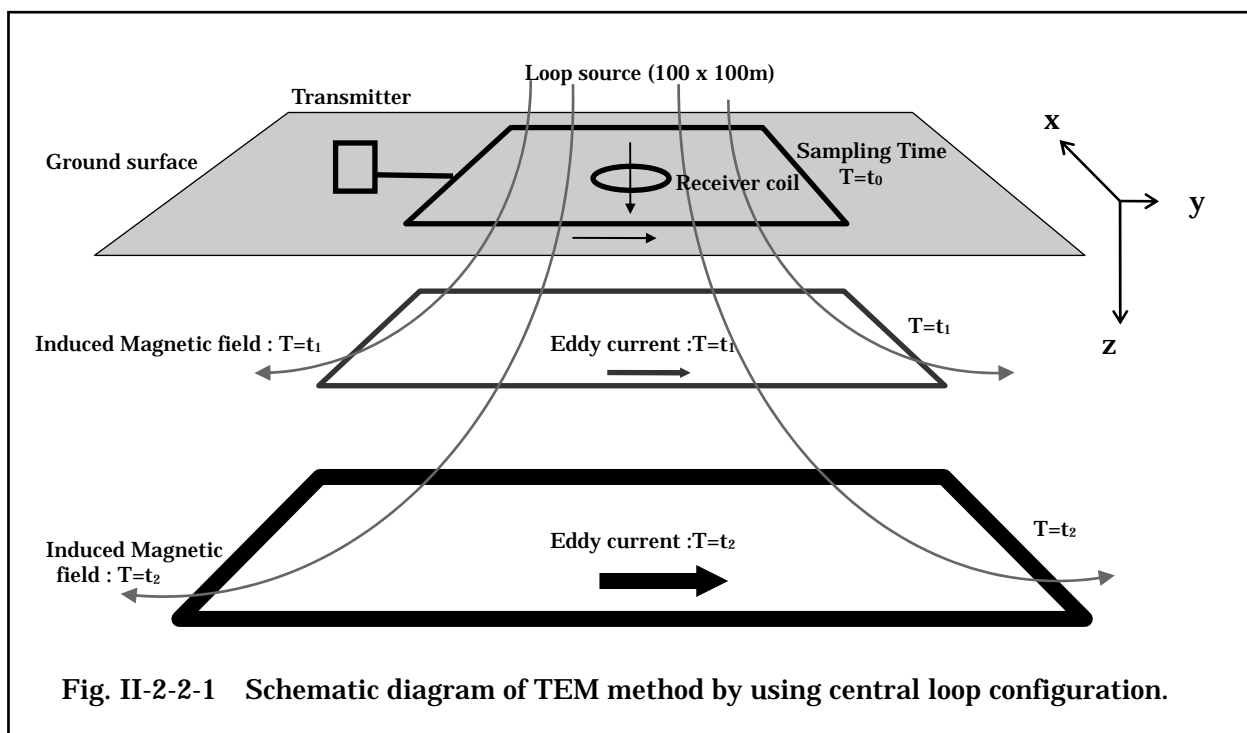
Area name	Tx-Rx configuration	Number of stations	Length of survey lines
Azzouz	In loop	146	
	Fixed loop		300m*3lines*2loop
Khefawna	In loop	19	
Total		165	1,800m

2-2-3 調査方法

測定装置は、カナダ Geonics 社製の測定装置を使用した。データの収録装置 PROTEM(D)には、送信電流遮断後の磁場変化率を収録するために、サンプリング時間 0.00613 ~ 69.78ms 内において複数の測定レンジが設定されている。昨年度の調査では、100 × 100m の送信ループによるセントラルループ配置を採用し、測定レンジは 0.00613 ~ 0.06959ms (u モード)、0.08813 ~ 6.978ms (H モード) および 0.8813 ~ 69.78ms (L モード) を使用した。しかし、一部の地区において IP の影響あるいは信号が弱いことによりターゲットとした深度 200m 付近の比抵抗構造が解明されないこともあった。そこで、今回は 500 × 500m の大ループによるインループ配置を採用することで、信号強度の増加を図った。送信機には EM37 を使用し、送信電流は 18A 程度であった。大ループを使用したため、送信機と受信機の双方に内蔵されたクロックを同期させて測定するクリスタルモードにて実施し、測定レンジは H モードである。この際、信号遮断後からサンプリングを開始する時間を示

す delay time (Turn off time)を 0 μ sec および 1,000 μ sec の 2 通りのモードで測定し、深部情報の取得に努めた。

TEM 法測定のご概念としてセントラルループ配置による概念図を Fig.II-2-2-1 に示す。



今回、Azzouz 地区内の 2 ヶ所にて、測定電圧の極性が反転するデータ取得された。通常、インループ配置測定では極性が同一方向であることから、極性反転現象は地下において逆向きの磁場を発生させる物体の存在が予想され、それは導電性の物体（鉱体、グラファイト、粘土化帯、断層等）や IP 異常の原因である硫化物であると推定される。いずれにしても鉱床胚胎に寄与することもあり得るので、その物体の形状を求めることを目的として固定ループ配置測定も実施した。

2-2-4 解析方法

PROTEM(D)の測定電圧 V_0 (mV)は、次式により磁場変化率 dB/dt (nV/m²)に変換することができる。

$$\frac{dB}{dt} = \frac{V_0 \cdot 19200}{E \cdot 2^n} \quad (2-2-1)$$

ここで、 E (m²)は受信コイルの有効面積、 2^n は増幅器の利得である。さらに、磁場変化率は、次式により時間関数の見掛比抵抗 $a(t)$ (ohm-m)で表すことができる。

$$\rho_a(t) \cong \frac{\mu}{4 p t_c} \left(\frac{2 \mu M}{5 t_c d B / d t} \right)^{2/3} \quad (2-2-2)$$

ここで、 μ は真空の透磁率(4×10^{-7} H/m)、 t_c (msec)は送信電流遮断後の経過時間、 M は送信器のモーメントであり、送信ループ面積(m^2)と送信電流値(A)の積である。

解析は式 2-2-2 で得られた見掛比抵抗値を用いて 1 次元多層構造解析を行なった。解析には INTERPEX 社の TEMIXXL を用いた。この 1 次元解析では、Occams inversion と呼ばれる拘束条件付多層構造解析を行い、この結果を初期モデルとして 1 次元多層構造解析を実施した。

また、Azzouz 地区の固定ループ配置測定によって取得されたデータに対しては、測線毎にプレートモデル解析を実施した。これは、均質媒体中に導電性プレート(板)をおき、そのプレートの大きさ、位置、電導度などを変化させた場合の磁場変化率を求め、この理論値と測定値とが一致するようなモデルを求める解析である。解析に使用したソフトは、GEONICS 社提供の MOTEM である。

2-2-5 調査結果

2-2-5-1 測定結果

今回の測定では、測定レンジ H モードにて、delay time=0 μ sec および 1,000 μ sec の 2 モード測定を行った。解析ソフト TEMIXXL では、同じ測定レンジのデータを同時には取り込むことができない。そこで、テキストエディターを用いて 0 μ sec の前半部分と 1,000 μ sec の後半部分をマージし、ひとつのデータとして解析した。これによりサンプリング時間の重なっている部分が除かれるため、最終的なサンプルリング数は 30 個となり、ここでは時間の早いデータからゲート 1、2、3、・・・、30 と呼称する。各測点の測定データは、磁場変化率 - 時間曲線および見掛比抵抗 - 時間曲線として巻末資料に添付した。

Azzouz 地区

1) インループ配置による測定結果

本地区における測定データは比較的良好であった。北部では道路沿いに送電線が走っており、その影響とみられる小さなノイズが近傍の測点にて認められたものの解析には影響なかった。各ゲートにおける磁場変化率分布を Fig. 2-2-3 に示す。図では左上から右下に向かってゲート 1 から 30 までの分布を示し、大まかには高磁場変化率から低磁場変化率へと緩やかに漸移している。中央部の測点 900N500E ではゲート 4 より負の値を示し、それはゲート 30 まで連続している。また、測点 040N050E ではゲート 13 から 26 まで、測点 030N050E ではゲート 20 から 25 までが負の値を示す。また、地表付近を反映しているゲ

ート1から6まででは中央東側に南北方向の高磁場変化率異常帯が認められ、これは高比抵抗帯の存在を示唆する。

次に、磁場変化率分布において認められた負の値を示す測定点、並びに、それらの測点周辺の磁場変化率 - 時間曲線を Fig.II-2-2-4 に示す。磁場の極性が反転した測点の周辺では、反転したゲートのデータが下方へ歪んでいるのが認められる。これららの歪みは、その連続性から極性反転の原因と同じものであると推定される。これらのデータに対して一次元多層構造解析を実施すると、歪みの部分で擬似高比抵抗層が解析されることから、平断面図では、これらの比抵抗構造を記載していない。

2) 固定ループ配置による測定結果

インループ配置測定では、測点 090N050E 他において極性の反転が認められ、またその周辺の測点でも類似の兆候が認められた。よって、その原因を解明すべく固定ループ配置測定を実施した。この送受信配置では導電性プレートに対して感度がよいため、もしもプレート状のものがあればその形状把握に寄与できると考えられる。送信ループは対象地点の南東方に設置し、そのサイズは 100m×200m であった。送信ループの中心から北西方向に延びる 3 本の測線を設定し、25m 間隔で測定を行った。本測定では、測定レンジが H モード、delay time=0 μ sec のみを測定した。

Fig.II-2-2-8 に各測線毎の磁場変化率プロファイルを示す。本図では、プロファイルはゲート 1 ~ 10 までを表示し、ゲート 10 の磁場変化率分布を背景に使用している。測線 950N、900N、および 850N では、早い時間において極性の反転が見られ、その反転位置を結ぶ線は N10°E であった。また、400N、350N、および 300N では、全ゲートの極性が反転し、それらを結ぶ線は N31°E であった。

通常、送信ループの外側において取得される磁場は、送信ループから遠ざかるに従い時間の早い磁場から極性が反転する。そして均質媒体上の測定では、その反転時間が順次移動するようなプロファイルが描かれる。よって、今回のような測定結果は、地下に不均質な比抵抗構造が存在することを示唆している。

Khafawna 地区

本地区における測定データは、周囲にノイズ源が無かったことから非常に良好であった。東西方向の測点を並べたプロファイルを Fig.II-2-2-11 に示す。本図では、プロファイルはゲート 1 ~ 10 までを表示し、ゲート 1 の磁場変化率分布を背景に使用している。各プロファイルとも急激な変化は見られないものの、中央から南東方向に向かって磁場変化率がやや低くなる傾向が見られる。

2-2-5-2 解析結果

1) インループ配置による Occams inversion 解析結果

Occams inversion 解析結果を平断面図として Fig.II-2-2-5 および Fig.II-2-2-6 に示す。各断面の比抵抗構造は、大まかには3層構造を示し、地表付近から 150ohm-m 程度の中比抵抗層、500ohm-m 以上の高比抵抗層、そして 150ohm-m 以下の中比抵抗層を示す。さらに深部では NW 側で 50ohm-m 以下の低比抵抗層が解析された。断面 500N ~ 300N では、南東部の標高 300m 付近で 50ohm-m 程度の低比抵抗が捕捉された。また、平面図において、地表付近の標高 400m 準では 300ohm-m 以上の高比抵抗が分布し、標高 300m 準では東西方向に比抵抗が変化する比抵抗コントラストが認められる。断面図にて指摘した 300m 準の低比抵抗帯は標高 100m 準では認められない。東部にて南北方向に延びる 500ohm-m 以上の高比抵抗帯の一部は、標高 100m 付近まで連続が認められる。

2) インループ配置による一次元多層構造解析結果

本解析では Occams inversion の比抵抗構造を初期モデルとして与え、RMS 誤差が小さくなり且つ Resolution Matrix が最適なる比抵抗構造を求めた。Fig.II-2-2-7 に解析結果を示すが、本図では求められた比抵抗構造を柱状図として表現されている。

大まかな比抵抗構造は、先の Occams inversion 解析結果と似た傾向を示す。断面 1600N から 1100N では、地表付近から第1層（比抵抗 150ohm-m 程度、層厚 100m 弱）、第2層（比抵抗 1,000ohm-m 程度、層厚 150m 程度）、第3層（比抵抗 100ohm-m）の3層構造が解析された。断面 1000N では、同じく3層構造に解析されたが第2層目の比抵抗が 1,000ohm-m 以下に低下する。

断面 900N から 100N では、地表付近の第1層目は比抵抗 150ohm-m ~ 250ohm-m、層厚 50m 程度と一定であるが、その下部はやや複雑な構造を示す。つまり、中央付近を境に NW 側と SE 側では比抵抗の大きさに違いが認められ、NW 側が比抵抗 200ohm-m 以上、SE 側が比抵抗 100ohm-m 前後と不連続的である。断面 400N および 300N の SE 側では、標高 300m 付近に 50ohm-m 以下の低比抵抗帯が解析された。また、NW 側の深部では 50ohm-m 程度の低比抵抗層が SE 傾斜で解析された。

3) プレートモデル解析結果

各プロファイルに対してプレートモデル解析を実施し、その結果を Fig.II-2-2-9(1)および Fig.II-2-2-9(2)に示し、またモデルのパラメータを Table II-2-2-2 にまとめた。

解析によって求められたモデルは、950N から 850N においてはサイズ 300m × 200m の導電性プレートが走向 N10° E、傾斜 70° E であった。また、400N から 300N では、サイズ 400m × 350m の導電性プレートが走向 N31° E、傾斜 45° E ~ 70° E であった。950N から 850N のプレートは3測線とも全ゲートに対してほぼ同じパラメータが有効であった

のに対して、400N から 300N ではプレートのサイズや走向は変化しないものの、プレート
の位置、傾斜、導電率が変化している。つまり、400N から 300N のプレートはゲートが遅
い（深部）ほど導電率が大きくなり、且つ、400N の深部では緩傾斜となる。

Khefawna 地区

Occams inversion 解析結果を Fig.II-2-2-12 および Fig.II-2-2-13 に示す。各断面に共通
して、地表付近から標高 500m までは 50ohm-m 以下の低比抵抗を示し、その下部では数百
ohm-m 以上の高比抵抗層が解析された。その高比抵抗層は、北部断面 2300N ではほぼ水
平であるのに対して、中央付近の断面 2200N や 2300N ではやや盛り上がった形状を成す。
さらに南部断面 2000N では東側が盛り上がった形状をみられる。以上の構造は、比抵抗構
造平面図からも指摘され、地表近くの標高 600m 付近では中央部を中心として低比抵抗層
が分布し、標高 400m 付近では数百 ohm-m 以上の高比抵抗層がややドーム状の形状をなし、
しかもその高比抵抗層は南東方向への伸びを示している。

2-2-6 考察

今回の調査では、IP 法によって捕捉された IP 異常域に対して、その異常域の深部方向へ
の拡がりを解明するために TEM 法を実施した。調査対象地区は、Azzouz 地区および
Khefawna 地区の 2 地区である。測定は 500m × 500m の大送信ループを使用してインルー
プ配置測定を実施した。また、Azzouz 地区の一部では固定ループ配置による測定も実施し
た。以下に地区別の特徴を述べる。

(1) Azzouz 地区

本地区では、インループ配置により地区中央および南部において磁場反転現象が観測さ
れると同時にそれらの周辺において IP 効果の影響を反映したと考えられるデータも観測さ
れた。一次元解析結果から本地区の比抵抗構造は、測線 1000N を境に北部と南部では若干
違う比抵抗構造を示す。つまり北部では、地表付近から中比抵抗層（150ohm-m 程度）、高
比抵抗層（1,000ohm-m 程度）、やや低比抵抗層（100ohm-m）の連続性のある 3 層構造を
成す。他方、南部では標高 400m 以深において北西側が比抵抗 200ohm-m 以上に対して、
南東側が比抵抗 100ohm-m 前後となり、水平方向の不連続構造が示された。また、断面 400N
および 300N の南東側では、標高 300m 付近に 50ohm-m 以下の低比抵抗層が解析された。
さらにプレートモデル解析により、極性反転現象が観測された地点において導電性プレ
ートが解析された。以上の結果をもとに Azzouz 地区の比抵抗構造モデルを作成し、それを
Fig.II-2-2-10 に示す。本図では、一次元解析結果による比抵抗構造に加えて、IP 効果の影
響をもたらした範囲、解析された導電性プレートを示す。

本 TEM 法調査地区では古生層が地表部から広く分布し、大小の褶曲および断層により地
質構造は複雑な構造を示すと考えられている。解析された比抵抗構造もこのことを反映し、

南部ほど複雑な比抵抗構造を示す。さらにこの複雑な比抵抗構造に加えて、次の2地点では鉱床胚胎と関連できるような異常体が捕捉された。

中央部、測点 090N050E 付近

南部、測点 040N055E および 030N060E 付近

2地点の内、では導電性プレートの周囲をIP異常体を取り囲むように分布すると推定されるが、その深度は200m以浅であり、且つ、電導度1.5Sとさほど高い値を示さない。他方、では導電性プレートが深度350mまで延び、その北側にIP異常体が分布すると推定される。さらに、電導度は深部ほど高く、最大30S以上を示す。よって、のプライオリティにて異常体の確認することが望ましいと考える。

(2) Khefawna 地区

本TEM法調査地区では、中央部の深部において緩やかなドーム状の数百ohm-m以上の高比抵抗層が捕捉され、且つ、南東方向への延びが確認された。その高比抵抗層の上部には50ohm-m以下の低比抵抗層が広く分布している。この高比抵抗層は、その形状から東西方向の背斜軸を持つ褶曲構造等に推定されるが、さらなる検証が必要であると考えられる。



LEGEND



Tx loop and measuring station
by In loop configuration



Tx loop and measuring line
by Fixed loop configuration

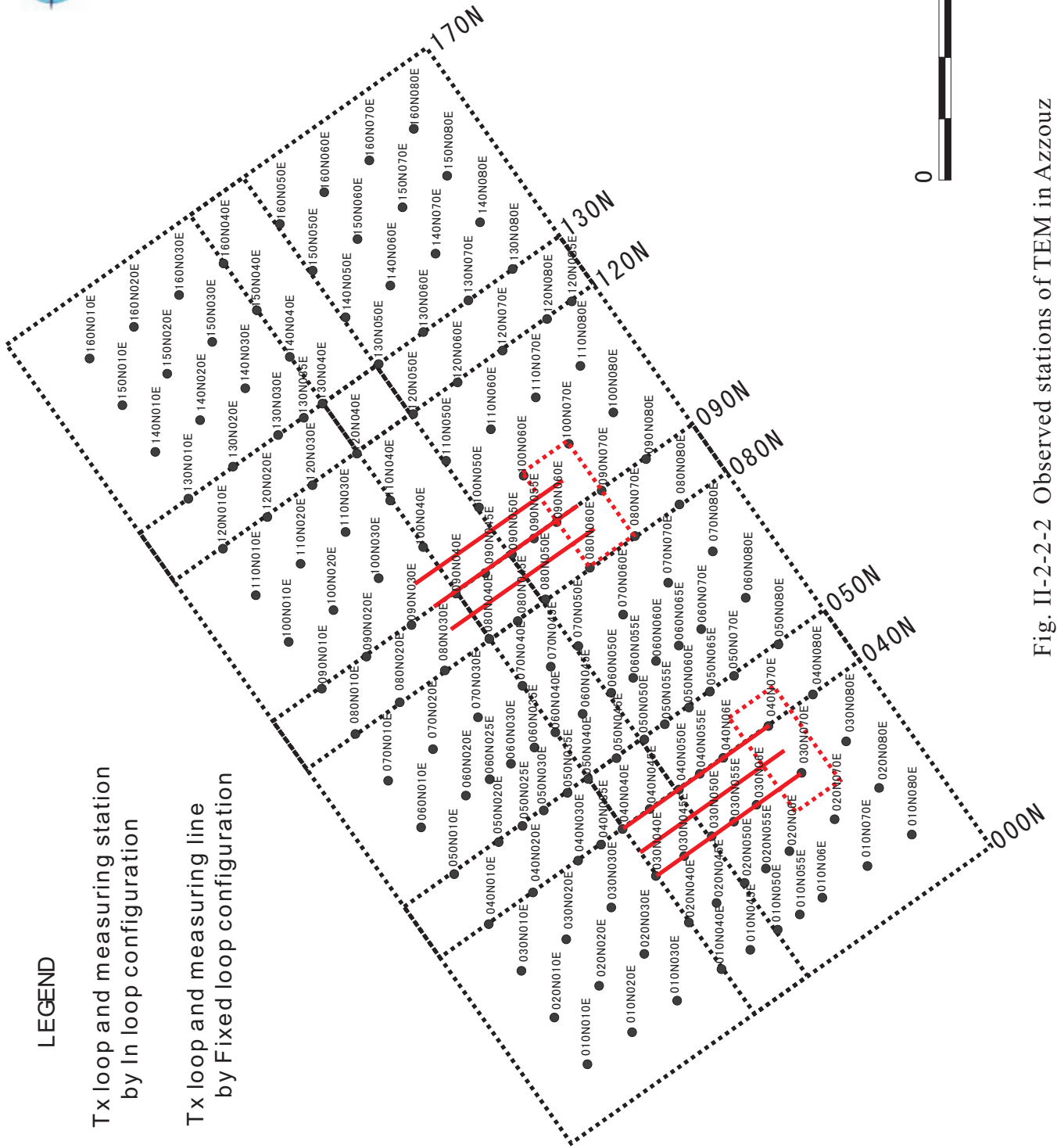


Fig. II-2-2-2 Observed stations of TEM in Azzouz

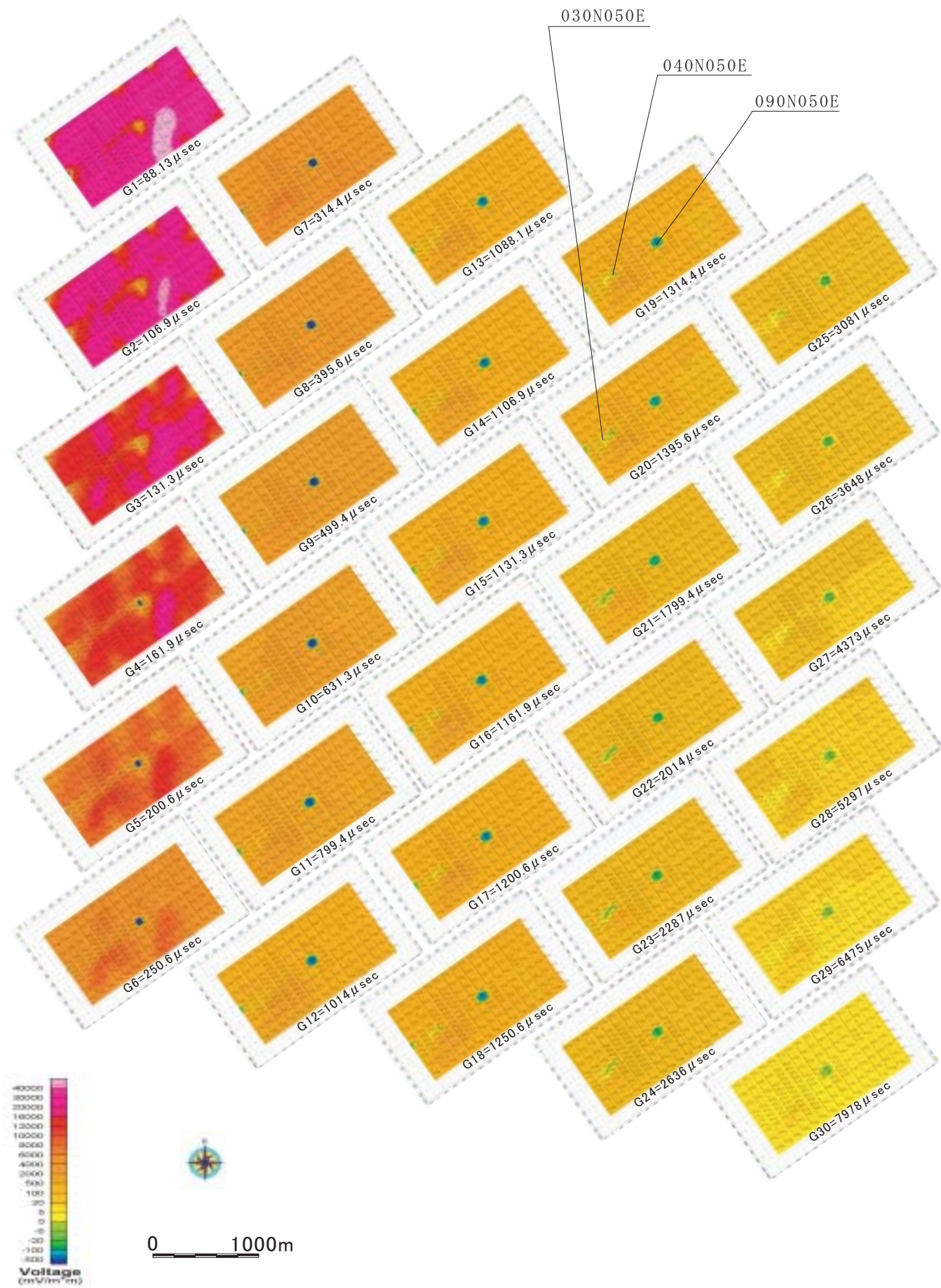


Fig. II-2-2-3 Normalized Voltage distribution map in Azzouz

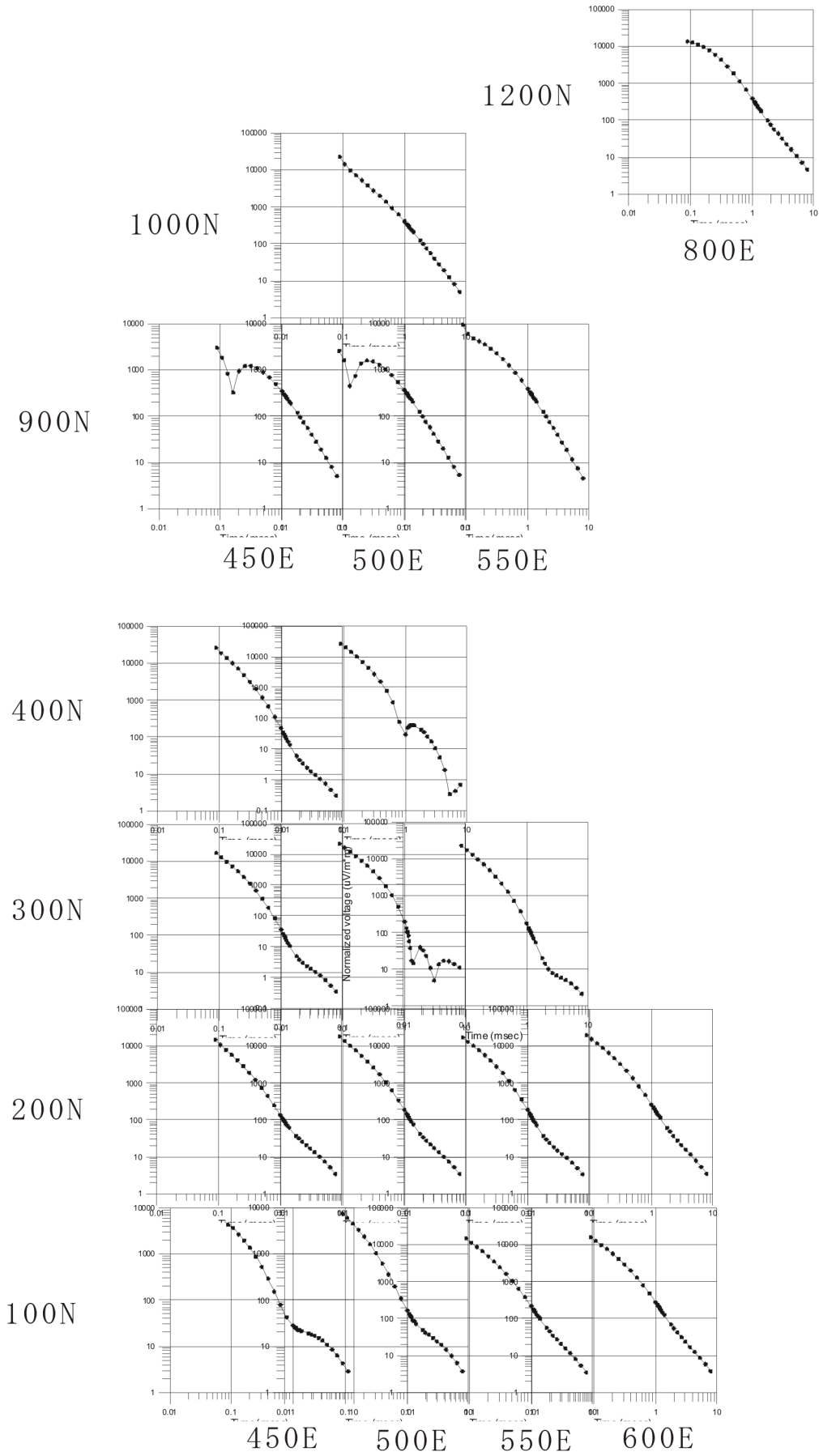


Fig. II-2-2-4 Transient Curve which are influenced by IP in Azzouz

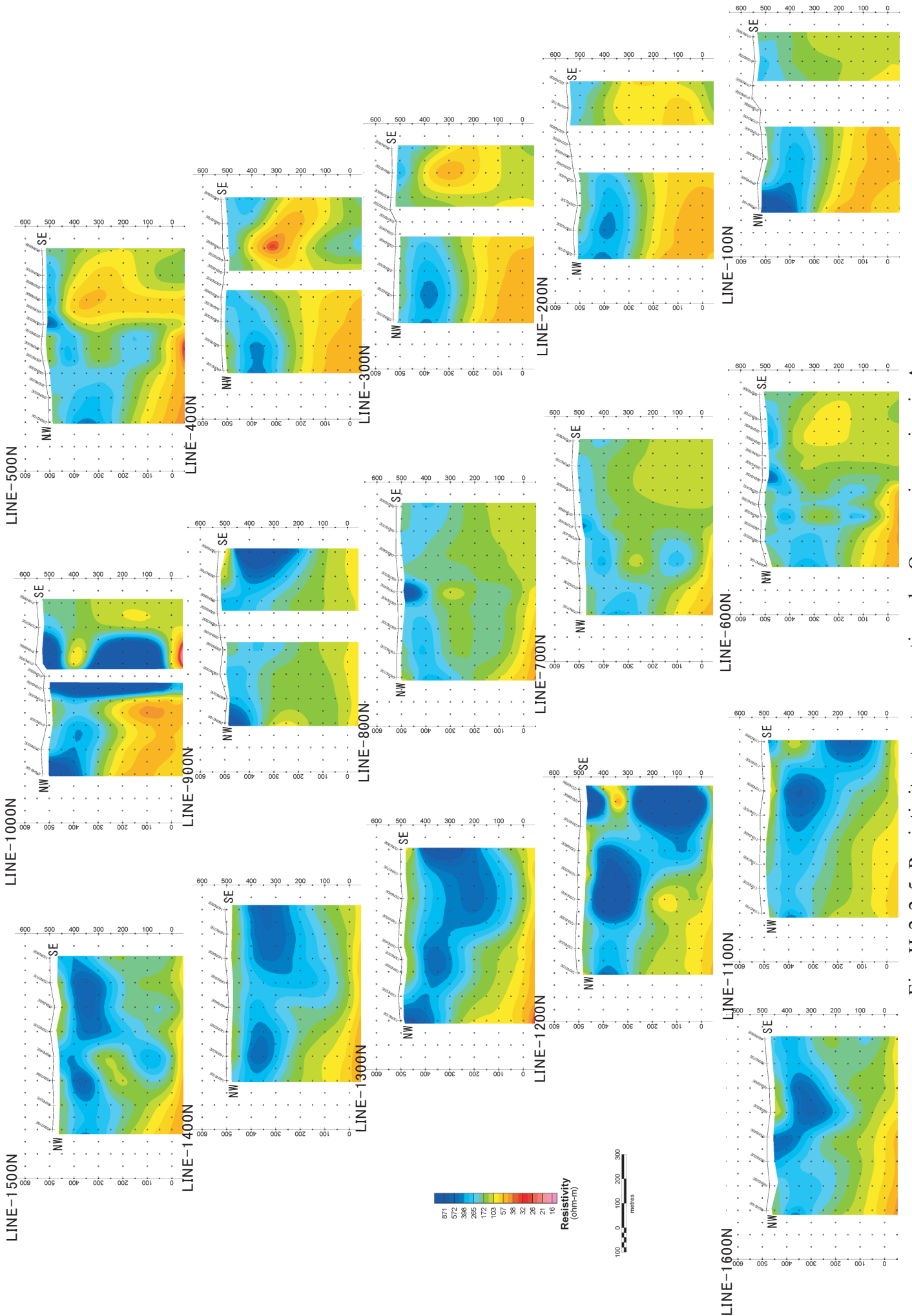


Fig. II-2-2-5 Resistivity structure sections by Occams inversion in Azzouz