

Analyse du paysage géomorphologique des Hédil (Tunisie) par MNT

Tahar BOUHAFI**, Ibtissem TOUNSI**, Mohamed Chedly RABIA*

Mots clés: SIG, Modèle Numérique de Terrain, Analyse morphostructurale, Discontinuités.

Résumé. Cet article présente l'intérêt de l'utilisation des Systèmes d'Information géographique (SIG) en géomorphologie et, plus particulièrement, pour l'analyse morphostructurale. En effet, le modèle numérique de terrain (M.N.T), et les cartes qui en découlent, offrent de larges possibilités pour la reconnaissance du paysage géomorphologique et notamment pour l'analyse morphostructurale du terrain à travers, entre autres, la détection de discontinuités topographiques (ruptures de pentes). Une base de données géoréférencées **Hédil-SIG** a été constituée sur la région des Hédil (Nord de la Tunisie), intégrant les paramètres clefs expliquant la géomorphologie structurale de la région. L'analyse multisources (MNT, cartes dérivées, géologie, hydrographie) montre que la région des Hédil est caractérisée d'une part, par un relief fortement accidenté avec une structuration complexe et un linéament multidirectionnel à dominante SW – NE et, d'autre part, par une importante dynamique actuelle résultant de l'activité des eaux courantes et d'une topographie très marquée par l'empreinte des données structurales (lithologie et tectonique).

Key words: GIS, Digital Elevation Model, morphostructural analysis, Discontinuities.

Abstract. This article presents the interest of the utilization of Geographical Information System (GIS) in geomorphology and, more particularly, for the morphostructural analysis. Indeed, cards derived of the Digital Elevation Model (DEM) offer wide possibilities for the recognition of the geomorphological landscape and notably for the morphostructural analysis of the terrain through, among others, the topographic discontinuity detection (gaps of slopes). A georeferenced database has been constituted, named Hédil-SIG on the region of Hédil (North of Tunisia), integrating key parameters explaining the morphostructural analysis of the region. The analysis multisources (DEM, cards derived, geology data, hydrography) show that the region of Hédil is characterized on the one hand, by a relief strongly injured with a complex structuring and a multidirectional outline to dominant SW-NE and, on the other hand, by an important current dynamics resulting the activity of waters and a topography very marked by the structural data imprint (lithology and tectonic).

La région des Hédil et ses environs, en Tunisie septentrionale (Fig. 1), s'étendent sur une superficie totale d'environ 640 km², l'altitude moyenne de la région est de 300 m seulement.

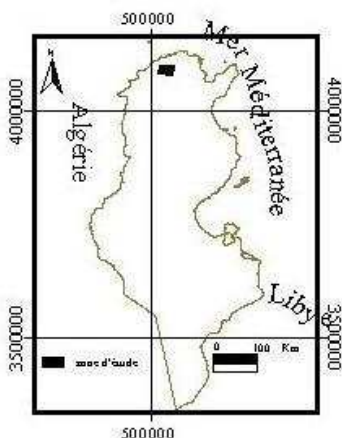


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

Malgré la faiblesse de ses altitudes et de sa faible extension, cette région est très accidentée. Le nord de la Tunisie présente une assez grande variété de paysage. Celui des Hédil est une zone charnière se situe entre deux ensembles bien distincts : le domaine des écaillés au sud-est et le domaine de nappes de charriage au nord-ouest.

Le contact entre ces deux domaines se fait par le complexe salifère du trias dont la mise en place reste un sujet de controverse entre les différents auteurs à la fois géologues et géomorphologues (Kujawski H., 1969; Miossec A., 1979). Dans ce contexte, nous avons essayé de voir si les SIG pouvaient apporter une information supplémentaire à la compréhension de ce paysage géomorphologique en s'appuyant sur une analyse morpho-structurale (Collina-Girard J.1989).

Dans cet objectif, nous avons réalisé un Modèle Numérique de Terrain (MNT) dans la région des Hédil. Ce MNT nous a servi à réaliser des cartes

dérivées (cartes de pentes, cartes d'ensoleillement, carte des expositions, carte des classes d'altitudes). Ces dernières, croisées à d'autres couches d'information telles que la géologie et l'hydrographie, nous ont permis une meilleure appréhension du paysage de géomorphologie structurale de la région des Hédil. L'ensemble a été intégré dans une base de données géoréférencées et multi-thèmes (Rabia M.C., 1998) **Hedil-SIG** et pilotée par le logiciel Arc-Info et Arc-View.

Deux types de données cartographiques sont intégrés au SIG sous forme de courbes, points et polygones :

- la carte géologique au 1/50000 réalisée par le Service Géologique de Tunis,
- les quatre cartes topographiques au 1/25000, correspondant au découpage de la carte au 1/50000^e des Hédil n°11 de l'Office de Topographie et de Cartographie de Tunis.

Les données ont été numérisées à l'aide d'une table à digitaliser A0 pilotée par le logiciel Arc-Info sous PC. Les premiers traitements ont donné lieu aux couches d'information suivantes :

- l'élaboration du MNT de la topographie ;
- les cartes dérivées :
 - o la carte de l'hypsométrie,
 - o la carte des pentes,
 - o la carte des expositions,
 - o la carte d'ensoleillement.

A cela se sont ajoutés les résultats d'analyse statistique, à savoir :

- o le calcul des rosaces de direction des failles et celui du réseau hydrographique en terme de fréquence et de longueur,
- o la distribution spatiale des failles et des cours d'eau.

Méthodologie

Nous avons numérisé systématiquement toutes les courbes de niveau et les points cotés qui couvrent la région à partir des quatre cartes topographiques au 1/25000 de la région d'étude. Dans l'objectif d'obtenir un MNT très proche de la "réalité", nous avons aussi numérisé le réseau hydrographique pour l'intégrer dans les paramètres de la réalisation du MNT. Nous avons aussi numérisé les données de la géologie (le tracé des failles et les affleurements).

A – Le Modèle Numérique de Terrain

L'élaboration du MNT repose sur la méthode d'interpolation triangulaire (TIN) de Delaunay

(Bjorke J.T. et al., 1993). Cette méthode est basée sur l'idée qui consiste à n'utiliser que les points voisins du nœud considéré. En effet, trois points seulement sont utilisés pour définir un maillage triangulaire. Les points de mesures sont les sommets du triangle. Des interpolations linéaires peuvent aussi être calculées à l'intérieur de chaque facette triangulaire. Cette interpolation sera d'autant plus réaliste que les formes des facettes se rapprochent du triangle équilatéral. L'intégration du réseau hydrographique vient renforcer le "réalisme" du modèle numérique de terrain en imposant à cette méthode d'interpolation la prise en compte des talwegs comme des limites naturelles dans la délimitation des triangles limitrophes des cours d'eau. Les effets de "facette" sont dans un second temps atténués par un lissage pour produire une matrice de cellules à taille égale appelée grid ou lattice. L'unité surfacique élémentaire du MNT est de 25 m correspondant à 1mm sur la carte topographique au 1/25 000e.

B - Les cartes dérivées :

A partir du MNT des cartes dérivées, prenant en compte les données du relief, ont été réalisées : carte des classes d'altitude, d'ensoleillement et de pentes. Ces cartes peuvent être visualisées en plan, donc en 2 D ou "drapées" sur le modèle numérique de représentation du relief. Nous leur avons associé, comme pour n'importe quelle autre couverture, d'autres couches d'information (réseau hydrographique, la tectonique et la lithologie)

- la carte hypsométrique

La carte de classification des altitudes (Fig. 2a) est obtenue grâce à la méthode de classification par les écarts-type, supervisée par notre connaissance de terrain. Cette carte a été réalisée après visualisation de l'histogramme des fréquences relatives (Fig. 2b), qui présente un profil en cloche légèrement déporté vers les hautes altitudes. L'analyse de cette cartographie a fait ressortir les grands ensembles orographiques de la région.

- les cartes d'ensoleillement

L'illumination consiste à simuler un "ensoleillement artificiel" de la surface topographique érigée en 3D. Pratiquement on détermine les deux paramètres pour une source de lumière virtuelle à savoir l'azimut exprimé en degré (positif) de 0° à 360° à partir du Nord et de l'altitude de cette même source de 0° à 90° (0° degré correspond à l'horizon, 90° la position zénithale.

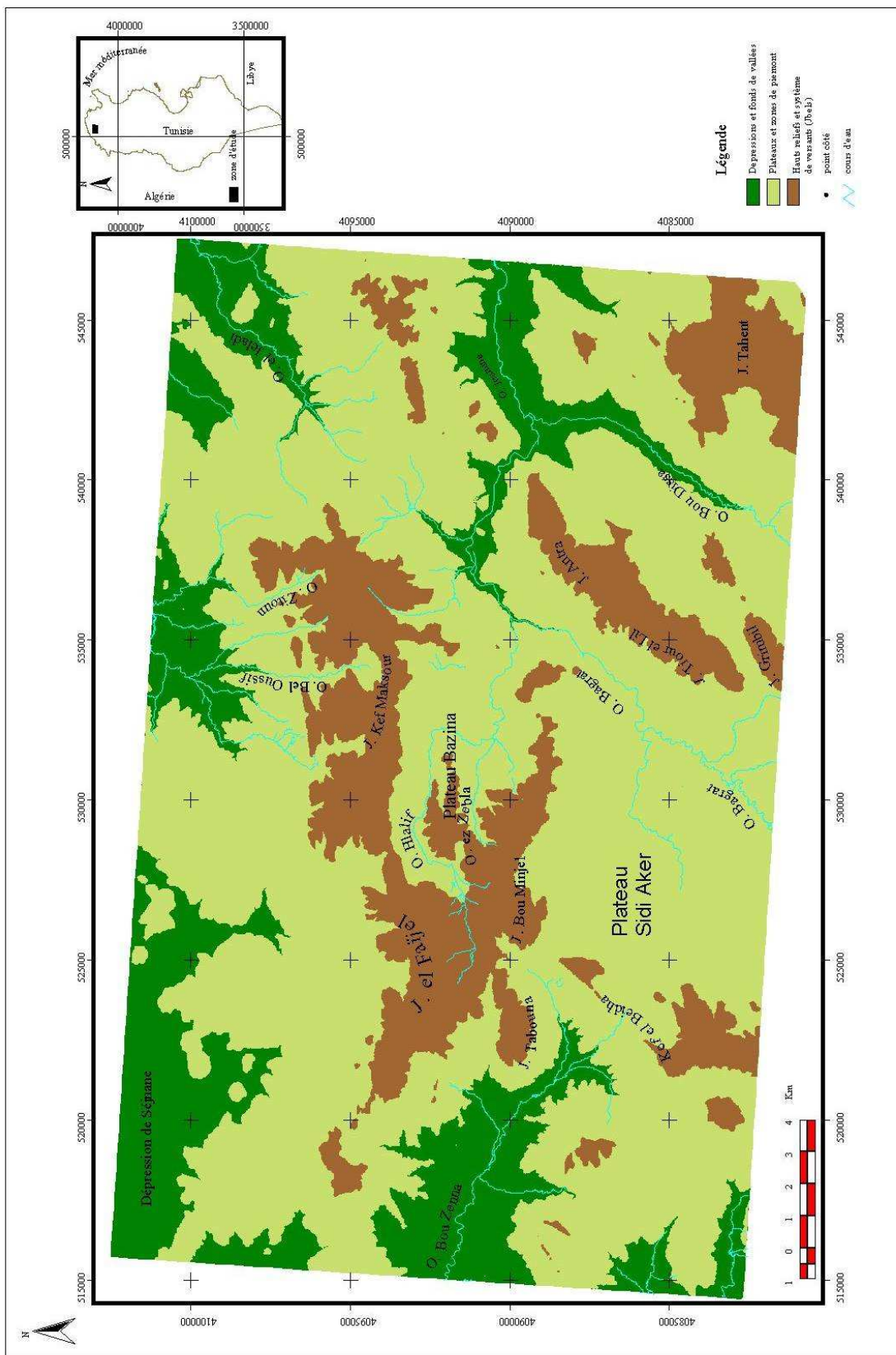


Fig. 2a. Les grands ensembles orographiques à partir du modèle numérique de terrain

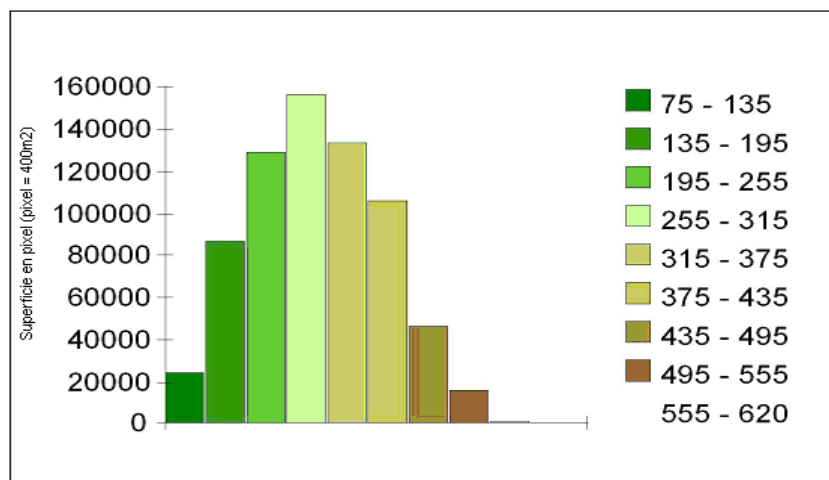


Fig. 2b : Histogramme des altitudes

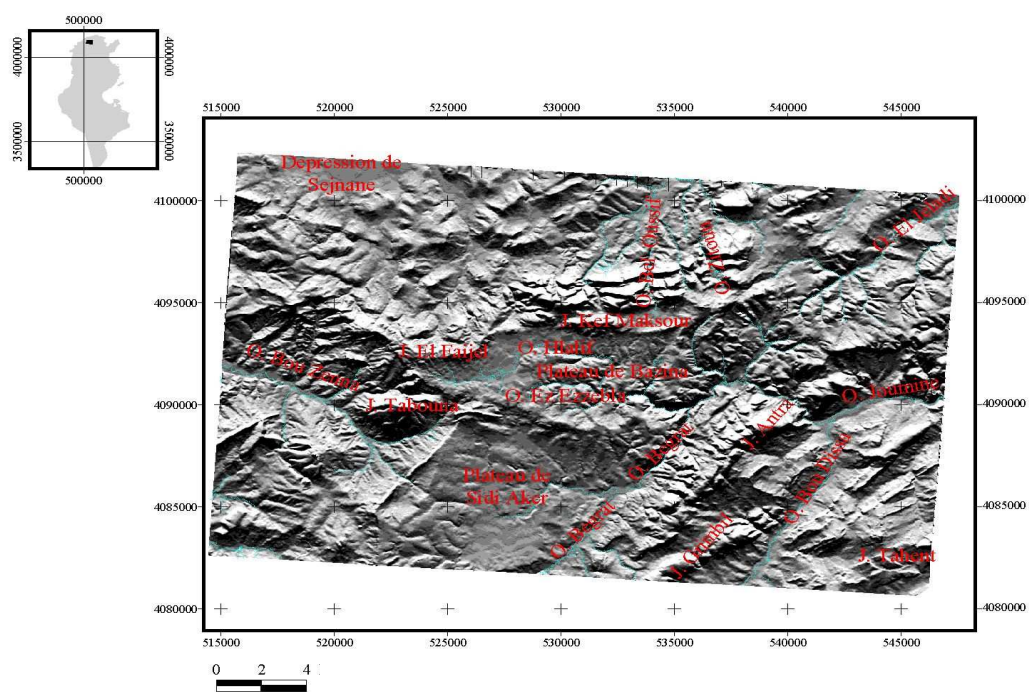


Fig. 3. Carte d'illumination avec Azimut 0° et altitude 35°

La pertinence de l'illumination dépend du choix adéquat des paramètres de la source de la lumière. L'analyse des différentes directions d'éclairage du MNT montre que chacune d'elles soulignent les structures topographiques qui lui sont perpendiculaires. Après plusieurs essais nous avons retenu les paramètres suivants qui nous semblent les plus pertinents pour l'analyse morpho-structurale:

Azimut 0° Altitude 35° (Fig. 3).

Azimut 135° Altitude 35° (Fig. 4).

- la carte des pentes

Après avoir généré le calcul des pentes, nous avons procédé à leur classification en adoptant la méthode des écarts-type calibrée, encore une fois, en fonction notre connaissance du terrain. Cette carte a permis de mettre en évidence les différentes ruptures de pente : talus, lignes de crête, talwegs, rebords...).

taillé dans des dolomies du Trias et sa position, en bordure du complexe triasique, plaide pour l'hypothèse d'un diapirisme. Au centre-ouest de la carte, nous observons, surtout sur la figure 3, la forme subcirculaire du Jbel Tabouna avec un aspect dissymétrique plus connu sous le nom de demi-dôme et bien cerné du côté Nord par une faille. Le tracé du réseau hydrographique est, quant à lui, de type radial. A droite de cette montagne, s'allonge le Jbel Bou Menjel qui, comme son nom l'indique (faucille), dessine un arc d'orientation ouest-est dont les couches sont redressées à plus de 70° formant une barre. Ce Jbel, est encore une fois témoin du diapirisme responsable de cette topographie de plateau de Bazina qui joue le rôle d'un château d'eau dans la région.

La figure 4, met en relief d'autres discontinuités d'orientation SO-NE. Les plus manifestes sont celles qui affectent la zone des écaïles dans le quart SE de la carte. Celles-ci correspondent à une famille de failles signalées sur la carte géologique. On observe aussi le caractère disloqué de la « chaîne » de Grimbil-Antra. Cette « chaîne » est composée de deux anticlinaux parallèles mais qui présentent dans le détail beaucoup de nuances. En effet l'observation du MNT ainsi que de cartes dérivées montre que, à la différence de la carte géologique, ces deux ensembles sont loin d'être homogènes. Les deux jbel renferment des espaces de faible pente

qui correspondent aux zones érodées par le ruissellement qui a mis à profit soit une faiblesse lithologique ou exploité une fracturation. L'exemple type est celui de la cluse taillée par oued Joumine.

B – Les discontinuités de talwegs

La figure 3, montre des cours d'eau encaissés de direction E-O. Parmi ces oueds, on voit se profiler presque parallèlement oued El-Hlalif et oued Ez-Zebila au centre du plateau de Bazina. Nous remarquons aussi un changement spectaculaire du sens de l'écoulement de l'oued Bagrat, au niveau de sa confluence avec l'oued Es Sakka, au cœur de plateau de Sidi Aker. Cette déviation peut être d'origine tectonique, d'ailleurs un peu plus au sud de cette confluence une faille est signalée de direction parallèle au changement du tracé du cours d'eau.

La figure 4, nous permet de distinguer les plus importantes vallées de direction SO-NE. On cite l'exemple de l'oued Bagrat et celui de l'oued Bou Dissa qui alimentent l'oued Joumine. Cette orientation semble marquer les grands linéaments par l'importance des discontinuités mise en évidence par la carte d'ensoleillement. La superposition de la couche du réseau hydrographique et celle du réseau de failles sur le MNT fait ressortir encore plus les différentes discontinuités du tracé des thalwegs et des lignes de crête (Fig. 5 et 6).

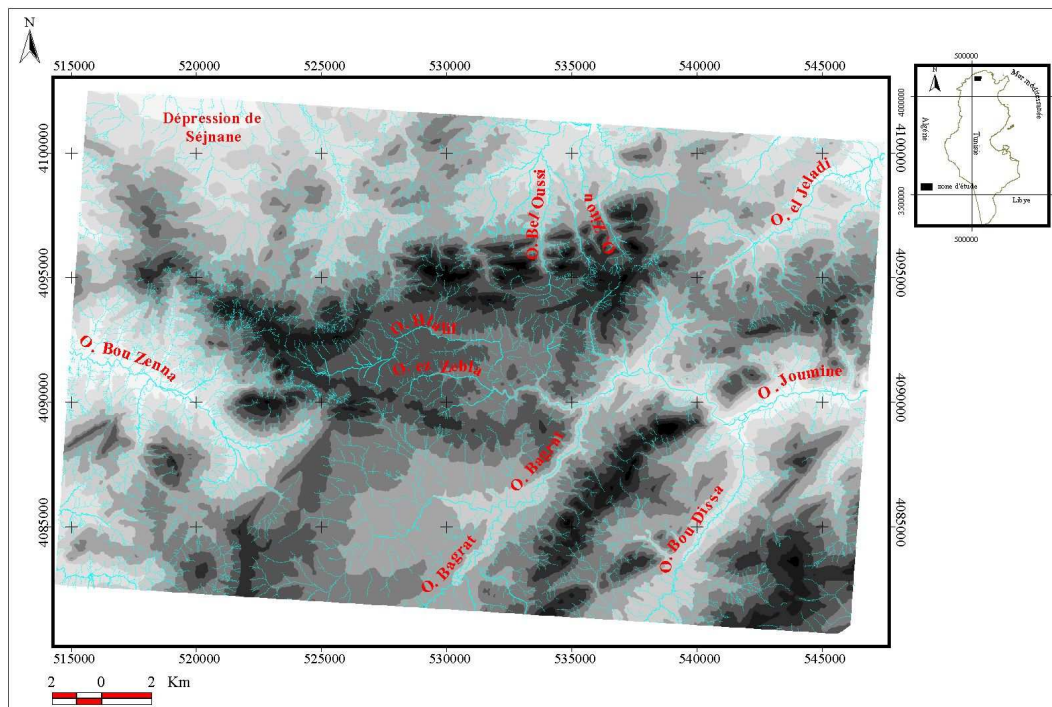


Fig. 5. Carte de superposition du réseau hydrographique avec le MNT

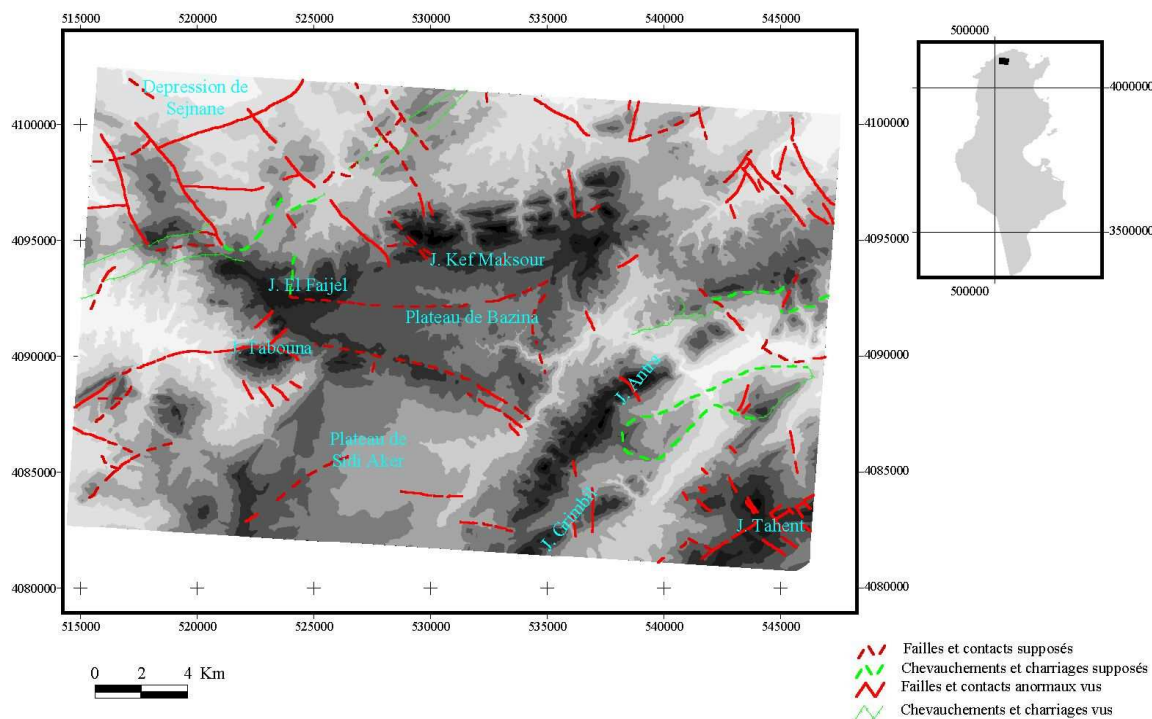


Fig. 6. Carte de superposition du réseau de failles et contacts anormaux avec le MNT

Par ailleurs, la comparaison de la rosace des directions du réseau hydrographique global (tout type d'écoulement confondu permanent ou non) et celle des directions de failles (vues ou supposées), montre une nette similitude (Fig. 7). En effet, quelque soit le critère retenu, soit la répartition en terme de fréquence de segments soit leurs longueurs cumulées, on remarque la prédominance de la direction N125 à N155. Cette même tendance se manifeste plus clairement si on se limite aux cours d'eau non permanents. Cependant, les cours d'eau permanents qui sont plus marqués dans le paysage montrent une direction globale N45 à N75. Cette direction est plutôt conforme à l'orientation des grands plissements dans la région. De plus, les deux oueds Bagrat et Bou Dissa coulent parallèlement aux anticlinaux des Jbel Antra et Grimbil.

En plus, des données de la tectonique, les données lithologiques font, elles aussi, sentir leur

empreinte dans la superposition du réseau hydrographique à la carte des affleurements géologiques (Fig. 8). Nous remarquons deux zones, l'une ayant une forte densité et l'autre ayant une faible densité hydrographique.

La zone de forte densité du réseau hydrographique observée dans le domaine des marnes paléocènes au nord de l'oued Bouzenna, traduit un paysage du type bad-lands. Ceci explique le caractère imperméable du substratum et sa prédisposition à l'érosion hydrique favorisée par une forte pente.

Ainsi la zone de faible densité du réseau hydrographique observée sur le plateau calcaire de Sidi Aker, s'explique par la perméabilité du substratum et la faiblesse de la pente qui ont favorisé des modelés karstiques.

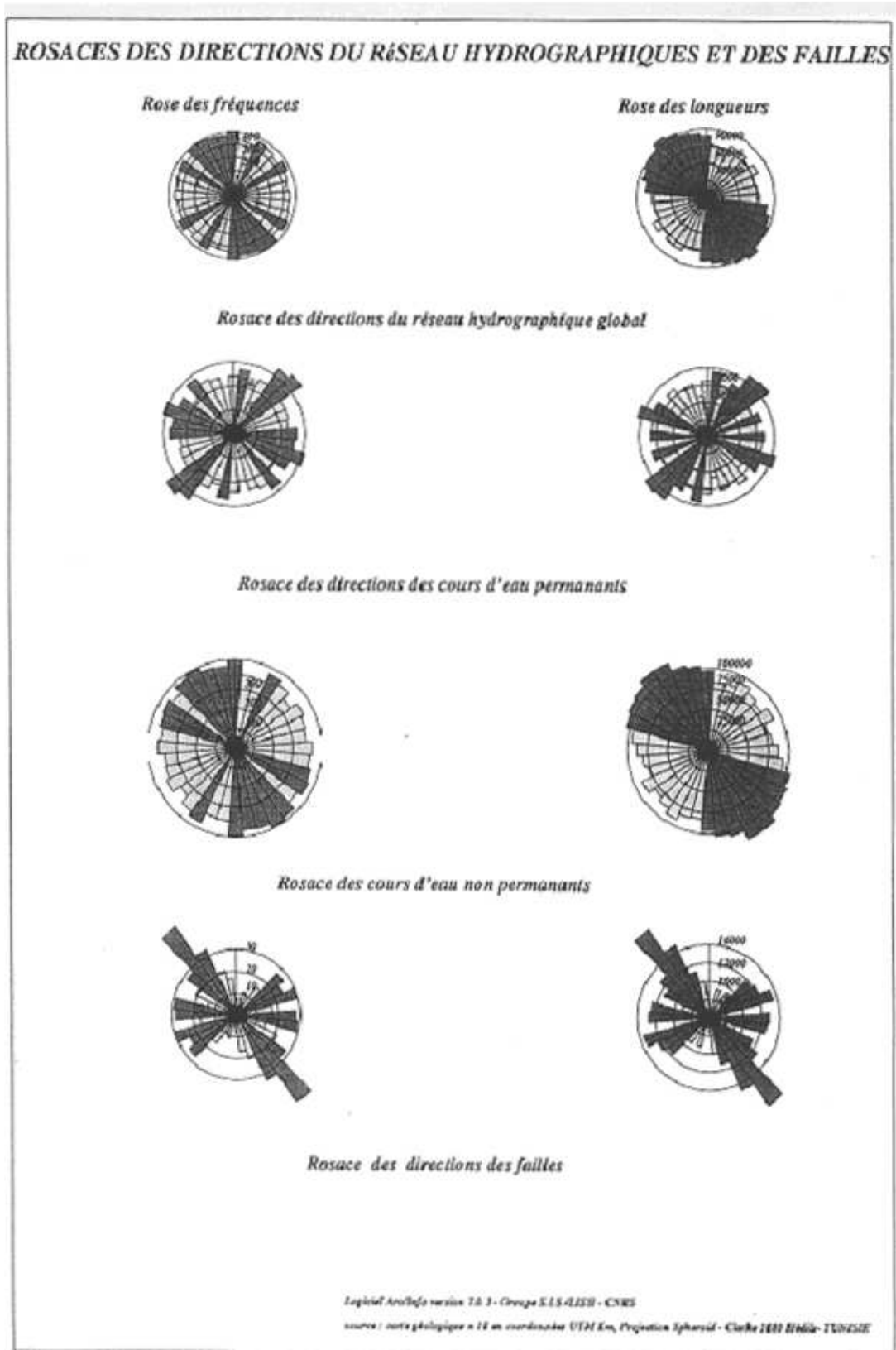


Fig. 7. Rosace des directions du réseau hydrographique global (tout type d'écoulement confondu permanent ou non) et celle des directions de failles (vues ou supposées)

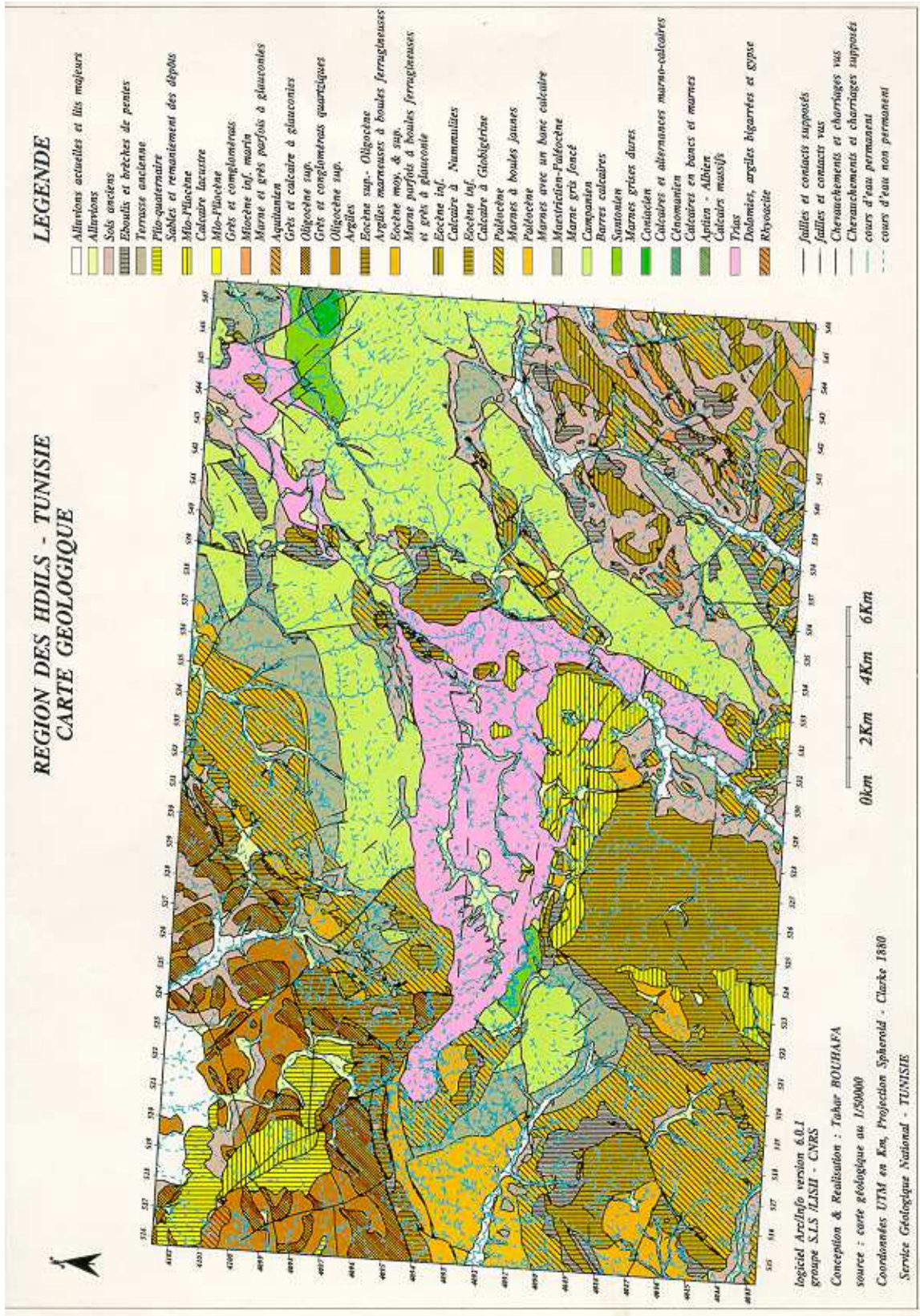


Fig. 8. La superposition du réseau hydrographique à la carte des affleurements géologiques

Conclusion

Les résultats de ces premières investigations soulignent que les éléments linéaires de la géomorphologie structurale peuvent être dégagés en utilisant une base de données géoréférencées et multicouches. Mais dans l'état actuel de nos recherches, nous constatons qu'un manque d'information peut handicaper le traitement, tel est le cas de la recherche de corrélation entre le tracé du réseau hydrographique et celui du réseau de faille. Cette constatation conduit à signaler que l'utilisation du SIG ne sert pas seulement à restituer de l'information à partir des données existantes mais aussi, c'est un moyen de prospection puisqu'il nous interpelle à partir de la détection de situation

d'anomalie (correspondance de la direction dominante des failles avec les cours d'eau non permanent).

La base de données Hédil-SIG, bien que l'information soit incomplète, garde l'intérêt d'associer les différentes couches d'information sous un format numérique et dans un système géoréférencé présentant l'avantage d'une prédisposition à un traitement automatique de l'information spatiale. En outre, dans l'attente de ce supplément d'information, il semble d'ores et déjà opportun de généraliser l'utilisation de l'approche SIG pour essayer de cartographier et donc d'interpréter les autres éléments de la morphologie structurale d'expression planaire.

BIBLIOGRAPHIE

- BJORKE J.T. MIDTBO T. (THRONDEIM N.), 1993 – *Generalization of digital surface models* pp. 363-371, in International Cartographic Conference 3-9 May 1993, Germany
- COLLINA-GIRARD J. 1989 – *Application des techniques de l'analyse cartographique (analyse morphostructurale) : l'exemple du Roussillon (Pyrénées orientales, France)*. Géologie Méditerranéenne, T. XVI, n°4, pp. 321-340.
- KUJAWSKI H. 1969 – *Contribution à l'étude géologique de la région des Hédil et du Bejaoua oriental*, Annales des mines et de l'énergie n° 24, 281 p. Tunis.
- MIOSSEC A., 1979 – *Paysages et problèmes morphologiques de la région d'Hédil (Tunisie septentrionale)*, Revue tunisienne de géographie n°4, 1979, pp. 57-97.
- RABIA M.C., 1998 – *Système d'Information Géo-Scientifiques et télédétection multi-capteurs : application à une étude multi-thèmes de la Jeffara orientale*, Thèse Doctorat d'Etat, Uni. Tunis II, 320 p.

*Unité de Recherche Géomatiques des Géosystèmes 02/UR/10-01-Université de la Mannouba

**UMR 6554 – Géosystèmes (Brest) – Université Paris VIII –ENS Ulm