

Utilisation des SIG pour la modélisation des réseaux hydrologiques et l'analyse spatiale des bassins versants du sahel de Sfax

NADIA TRABELSI, MONCEF ZAIRI, IBTISSEM TRIKI ET HAMED BEN DHIA
LABORATOIRE « EAU, ENERGIE ET ENVIRONNEMENT », ENIS, B.P. « W » 3038 Sfax, TUNISIE.
E-MAIL: NADYSONIA@YAHOO.FR

Dans tous les domaines s'intéressant à l'étude de phénomènes spatialisés, un besoin en automatisation émerge, notamment pour les structures géographiques de types « réseaux », vue leur organisation systémique de l'espace qui n'est pas explicitée dans les bases de données géographiques (Paget *et al*, 2008). Dans l'optique de satisfaire ce besoin d'automatisation, le recours à l'utilisation des Systèmes d'Informations Géographiques s'est avéré rentable (Hocine *et al*, 2007 ; Charleux *et al*, 2000). Le présent travail décrit une méthodologie d'exploitation des données MNT SRTM permettant une extraction du réseau hydrologique à l'aide de deux outils SIG. Il s'agit du programme *Rockworks15* et *Arc Hydro* sous *ArcGIS 10*.

nous extrairons une représentation du réseau hydrologique. Cela permettra la délimitation et la caractérisation des différents bassins, qui constituent un élément clef pour toute gestion hydrologique (Bentekhici, 2006 ; Fossy, 2008)

La modélisation hydrologique est faite sous *Arc Hydro* et sous *Rockworks* (version 15). L'originalité de notre approche tient dans l'exploitation des fonctionnalités de ce dernier outil pour l'établissement d'une carte de drainage.

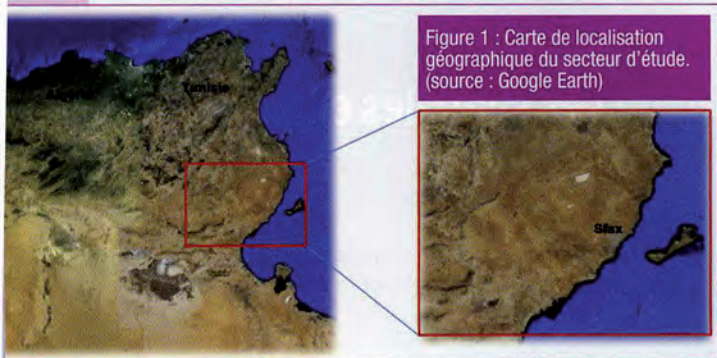
Introduction

La gestion et la préservation de la ressource en eau constitue une préoccupation mondiale majeure (Mutin, 2009; Louise, 2007), et tout spécialement dans les pays à climat aride et semi-aride où le patrimoine hydrique est sans cesse mis à l'épreuve

compte tenu de la croissance des besoins en eau (développement industriel, accroissement démographique...). C'est dans l'optique d'une gestion intégrée des ressources du sahel de Sfax que cette étude a été conduite. On s'est intéressé à l'étude du réseau hydrologique, qui constitue un élément clef pour toutes opérations de planification (Le Pape, 1998 ; Paget *et al*, 2008).

Secteur d'étude

Dans la présente étude, nous prenons comme zone test le sahel de Sfax, situé au sud-est de la Tunisie, entre les latitudes 35° 40' et 34° 10' Nord et les longitudes 9°33' et 11°10' ouest (figure 1). Vue sa situation géographique, la plaine de Sfax se caractérise par un climat à la fois saharien aride et méditerranéen semi-aride. Plus ou moins épargnée par les phases tectoniques majeures, elle montre une topographie monotone présentant des anticlinaux à grand rayon de courbure dont les altitudes ne dépassent pas les 200 m.



Matériel et méthodologie

La méthodologie adoptée consiste à exploiter et à interpréter des données altimétriques SRTM dans le but de cartographier le réseau hydrologique qui permettra une description des différents paramètres topographiques (pente, crête, longueur du cours d'eau...) et par la suite une délimitation des bassins versants. Dans la bibliographie, nombreux sont les auteurs qui se sont intéressés à cette approche, dont l'étude nécessite la vectorisation du fond topographique des différentes zones d'intérêt afin de générer les MNT. Selon Hingrey *et al.* (2009), cette méthode de production conduit à des imprécisions dans certaines zones, d'où l'importance de la télédétection. Cependant, notre approche a le mérite de la simplicité et du faible coût. En effet, le seul support de travail requis sera les données SRTM, qui sont disponibles sur *Internet*. En outre, cette étude montre l'intérêt de l'utilisation des SIG dans le processus de l'extraction des réseaux hydrologiques. Le croisement des résultats permettra de vérifier la fiabilité de des outils *Rockworks* et *Arc hydro* dans la modélisation hydrologique.

Extractions et traitement des données altimétriques

La première étape de notre travail consiste à télécharger les fichiers SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), support principal de notre étude. Ils correspondent à des fichiers matriciels et vectoriels topographiques fournis par la NASA et la NGA. Ces données altimétriques ont été recueillies par interférométrie radar. Le programme *Global mapper 13*

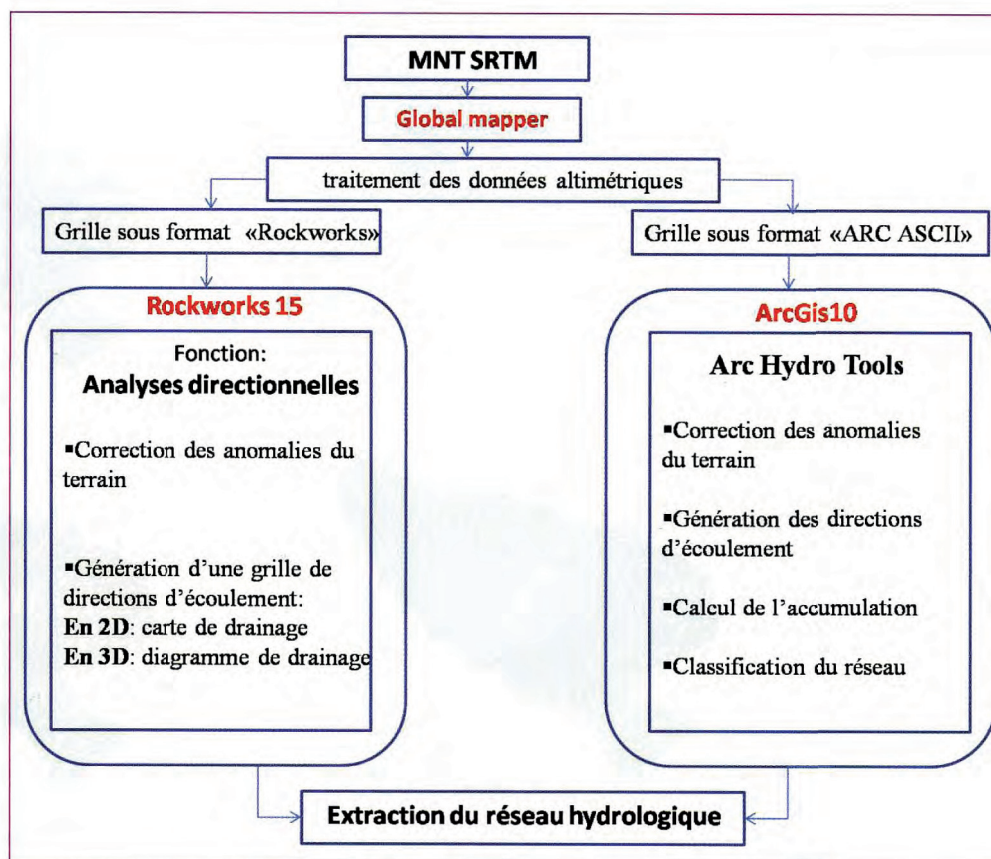


Figure 2 : Méthodologie de travail.

(*Blue Marble Géographics*, 2012) sert de visualisateur et calcule le MNT dérivé.

Après la récupération du MNT, on procède à la modélisation hydrologique. Dans ce but nous avons utilisé deux outils (figure 2). Le premier correspond au modèle *Arc hydro* intégré au programme *ArcGIS 10* (ESRI, 2010). Le second correspond au programme *Rockworks 15* (Rockware, 2011).

Modélisation du réseau hydrologique et délimitation des bassins versants

Modélisation sous Arc Hydro

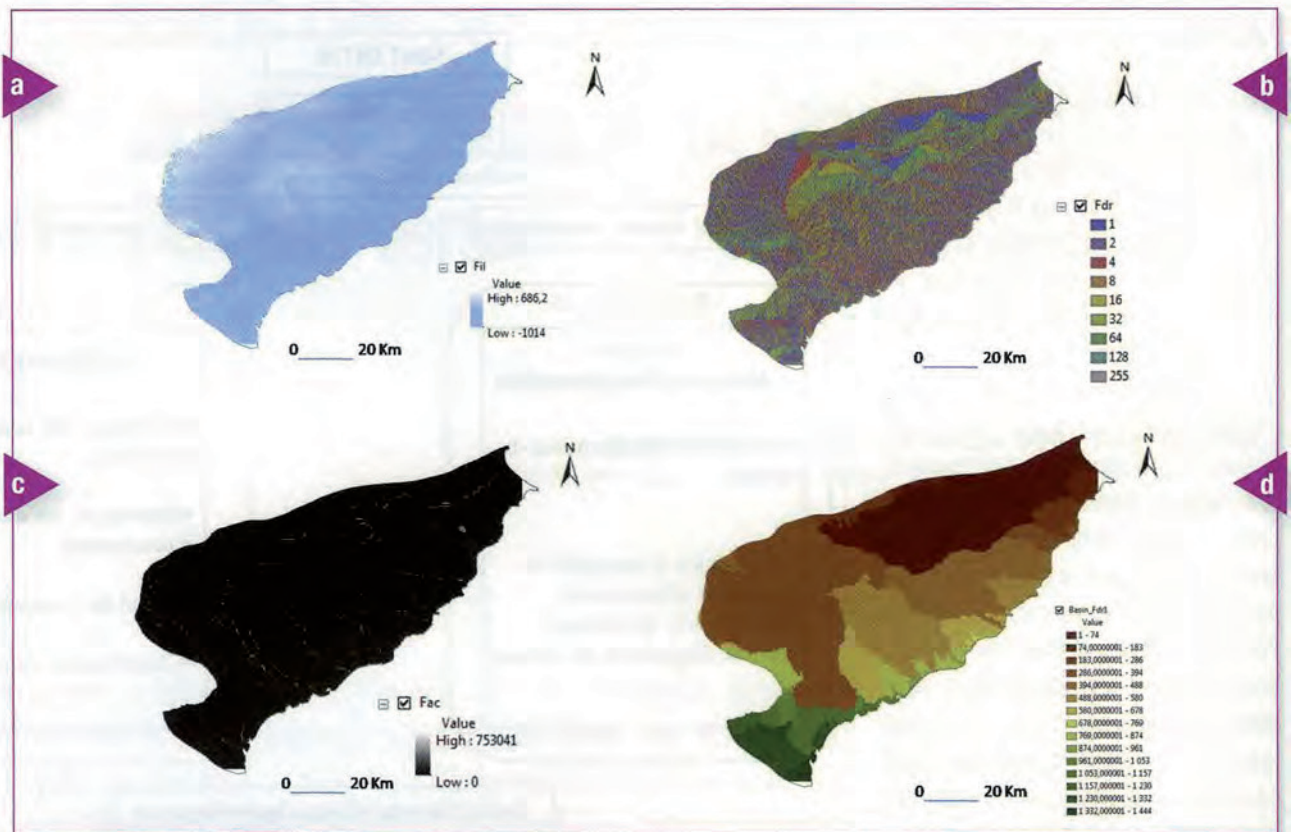
Ce module intégré à la solution SIG *ArcGIS 10* offre la résolution de divers problèmes liés à

la gestion des eaux (Maidement, 2002). Il comporte deux aspects : le premier concerne la gestion de la base de données géospatiale relative aux ressources hydriques et le second regroupe l'ensemble des outils d'analyse et d'intégration des données.

Dans un premier temps, nous procédons à la correction des anomalies du terrain, afin d'éviter soit les erreurs de calcul liées à des artefacts altimétriques, soit la génération d'interruptions dans les chemins hydrographiques. La fonction *fill sinks* est utilisée pour éliminer les dépressions du MNT (Figure 3a).

Le processus de l'extraction du réseau hydrologique à partir d'un MNT se déroule comme suit :

► *Détermination du sens d'écoulement du MNT* : cette méthode part du principe que la topographie représente un



Figures 3 : Modélisation hydrologique sous Arc hydro : (a) fill sinks ; (b) : calcul des directions d'écoulement ; (c) : calcul des accumulations ; (d) : délimitation des bassins versants.

bon indicateur des potentiels gravitationnels mis en jeu dans les processus d'écoulement de surface (Crave, 1995). Le programme utilise alors l'algorithme D8 (Jenson et Domingue, 1988) qui détermine le sens d'écoulement à l'aide de l'algorithme du gradient maximal ou maximum de pente (schéma unidirectionnel) (Figure 3b). Il s'agit de calculer le sens d'écoulement dans chaque cellule. Il correspond au chemin ayant la pente la plus faible (Charleux, 2001) ;

► *Calcul de l'accumulation d'eau* : le résultat de cette opération est une grille représentant le nombre cumulé de cellules amont (au sens de l'écoulement gravitaire) se déversant dans une cellule donnée. Le calcul nécessite la détermination d'un seuil correspondant à l'aire minimale de drainage et un nombre cumulé bien déterminé de cellules. Le

résultat représente un réseau hydrographique avec un nombre de cellules au moins égal au seuil fixé dès le début. La figure 3c montre que les cellules situées aux embouchures prennent des valeurs élevées, un résultat prévisible puisqu'elles reçoivent l'ensemble des eaux générées par les bassins ;

► *Classification du réseau hydrologique* : le réseau hydrographique obtenu possède une identification unique, il est codifié par l'ordre 1. Cependant, on réalise une classification des branches se basant sur le nombre des tributaires en appliquant la méthode de Strahler. Cette classification permet de décrire sans ambiguïté le développement du réseau de drainage d'un bassin depuis l'amont vers l'aval (Bentekhici, 2006). Une fois classifié, le réseau modélisé est converti en vecteur. La transition

du mode *raster* en mode vecteur est une opération intégrée et qui constitue l'un des concepts clés du modèle Arc hydro ;

► *Délimitation des aires des bassins* : représentent les différentes aires drainées par les différents segments du réseau hydrographique (figure 3d). Cette fonction prend, en entrée, la direction des écoulements et la segmentation du courant. La vectorisation des différents bassins générés fait appel à la fonction *catchment Polygon Processing*.

Modélisation hydrologique sous Rockworks

Le programme *Rockworks* constitue l'un des puissants outils de modélisation et d'analyse de données géologiques, hydrogéologiques, géophysiques, minières... Grâce à ses fonc-

tions spécifiques, ainsi que son interface conviviale, il permet une gestion et une manipulation plus facile des diverses données (Trabelsi, 2007).

L'intégration des algorithmes d'extraction du réseau hydrologique intéresse la dernière version (version 15). La modélisation du drainage passe par les fonctions *2D Flow Map* et *3D Flow Diagram*. Le principe consiste à calculer, à partir d'une grille, les variations des altitudes entre des cellules voisines. Les directions d'écoulement pointent des zones élevées vers les zones basses. Des aires de drainage minimales peuvent être fixées au début du processus d'extraction en définissant un seuil de surface amont drainée dont dépend la densité du réseau extrait (figure 4). Après plusieurs essais le seuil adopté dans notre étude est de sept cellules. Les résultats obtenus sont plus conformes au réseau de référence.

Les différents segments du réseau hydrologique extraits à partir du MNT SRTM sont stockés dans la base de données *utilities*. Les résultats peuvent être représentés soit sous la forme d'une carte de drainage (en 2D) soit sous la forme d'un diagramme (3D). D'autres opérations peuvent être effectuées, telles que le calcul des aires.

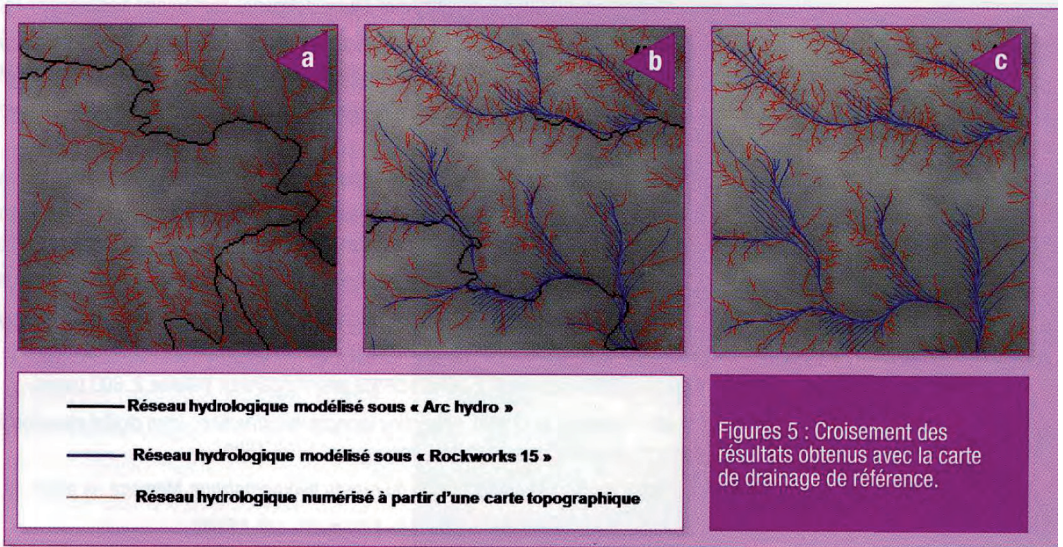


Figure 4 : Effet de la valeur des aires de drainage minimales sur la densité du réseau.

ctérisation morphométrique des différentes unités hydrologiques (calcul des indices de forme, de relief, densité de drainage...). En effet selon Délusca et Sildor (2000), l'application des outils SIG pourrait minimiser la marge d'erreur induite dans le processus de délimitation de bassins par quelques méthodes comme l'interprétation à partir d'une carte topographique ou bien l'observation stéréographique de photographies aériennes.

hydro coïncide avec la plupart des cours d'eau principaux, moyennant localement quelques écarts d'ordre métrique (figure 5a). Ces différences peuvent être liées la résolution des données SRTM (3 secondes d'arc).

Le réseau de drainage extrait sous *Rockworks 15* montre un écart planimétrique plus important par rapport à la carte de référence (figure 5b). Cependant on remarque que l'allure générale du



Résultats et discussion

L'exploitation des données SRTM a permis l'extraction du réseau hydrologique. La carte de drainage modélisée montre un écoulement qui s'effectue essentiellement vers la mer et secondairement vers les dépressions ou les sebkhas du secteur d'étude (drainage endoréique). Nous procédons ensuite à une cara-

Pour valider la méthodologie, nous réalisons un croisement des résultats obtenus avec le réseau numérisé à partir d'une carte topographique couvrant le secteur d'étude. On remarque que le réseau modélisé sous *Arc*

réseau de drainage modélisé est parfaitement concordante avec la référence numérisée (figure 5c).

Cette étude a donc permis, d'une part, de vérifier la fiabilité des résultats et, d'autre part, de

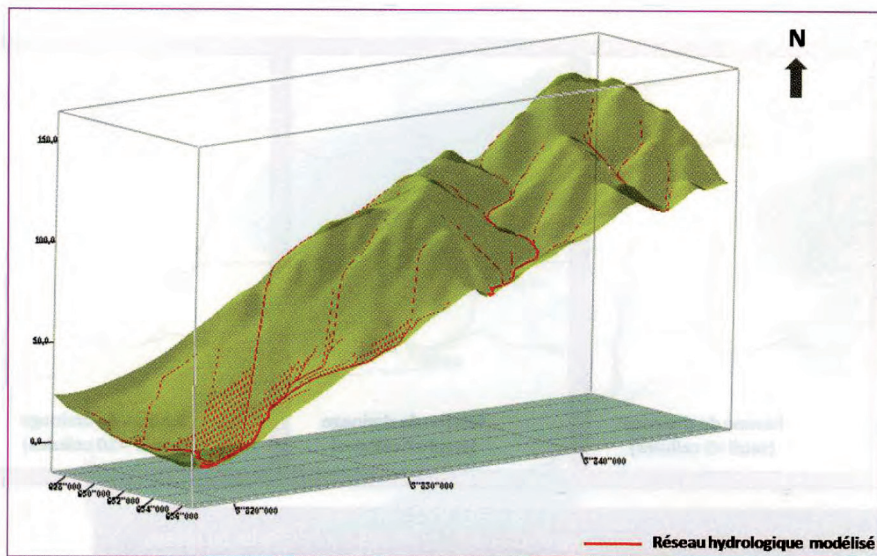


Figure 6 : Représentation en 3D

dégager les principaux avantages et inconvénients des outils utilisés dans le processus d'extraction du réseau hydrologique.

En ce qui concerne le programme *Rockworks*, le point fort de cet outil réside dans la facilité de

manipulation et la représentation tridimensionnelle automatique du réseau de drainage (figure 6). Cependant l'outil *Arc hydro* demande un temps de calcul beaucoup moins important que celui de *Rockworks* et offre davantage de souplesse dans

certaines processus, tel que la délimitation des bassins versants (*Rockworks* ne visualise qu'un seul bassin, celui qui possède l'aire de drainage la plus importante).

Conclusion

Des données SRTM qui couvrent la région du sahel de Sfax sont intégrées dans un SIG. Nous les analysons à l'aide des outils *Arc hydro* d'*ArcGIS* et *Rockworks 15* afin d'en déduire et de cartographier un réseau hydrologique. Si l'outil *Rockworks 15* s'avère plus au moins satisfaisant, l'outil *Arc hydro* paraît plus adapté pour la modélisation hydrologique. Cette étude a également démontré la précision acceptable des données SRTM et la possibilité de les utiliser pour mener des études hydrologiques en Tunisie. |

Bibliographie

- Bentekhici N. (2006). *Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physiques d'un bassin versant et leurs influences sur l'écoulement des eaux (bassin versant d'Oued El Maleh, Nord-Ouest d'Algérie)*. Conférence francophone ESRI.
- Charleux J., Indarto et Payraudeau S. (2000). *Méthode de diagnostic de la qualité d'extraction du réseau hydrographique à partir d'un Modèle Numérique de Terrain*. Hydrologie des régions méditerranéennes, 11-13 octobre 2000. Montpellier, France
- Charleux J. (2001). *Thèse sur la qualité des modèles numériques de terrain pour l'hydrologie Application à la caractérisation des crues*, 275 p, université de Marne-la-vallée
- Crave, A. (1995). *Quantification de l'organisation des réseaux hydrographiques*. Thèse, Université de Rennes I, 209 p.
- Délusca K. et Sildor E. (2000). *Utilisation des systèmes d'informations géographiques dans la caractérisation morphologique des bassins versants en Haïti : le cas du bassin versant de la ravine balan, nord d'Haïti*. Centre d'application en télédétection et SIG, article (rapport technique).
- Fossey M. (2008). *Étude hydrologique dans le pacifique, une première étape d'une modélisation sous SIG*. Rapport technique IDR. Projet GERSA.
- Hocine F., Belhadj Aïssa M., Haddoud A., Belhadj Aïssa A. (2007). *Extraction du réseau hydrologique à partir d'un MNT et utilisation du SIG pour l'étude du bassin versant*. Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007.
- Hingrey B. et al (2009). *Hydrologie 2 - Une science pour l'ingénieur, Volume 2*. 600 pages.
- Jenson S.K. et Domingue J.O. (1998). *Extracting topographic structures from digital elevation data for geographic information system analysis*. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, pp. 1593-1600.
- Le Pape S. (1998). *Analyse et quantification du réseau hydrographique*. Mémoire de projet de fin d'étude. E.S.G.T
- Louise R. (2007). *L'eau, source de conflits*. *Lex Electronica*, vol. 12 n°2.
- Maidment D R. (2003). *Arc hydro: GIS for water resources*, volume1. ESRI, Inc.
- Mutin G. (2009). *Le Monde arabe face au défi de l'eau Enjeux et Conflits*. hal- version 2, novembre 2009
- Paget A. et al (2008). *La géomatique au service de la caractérisation automatique des réseaux hydrographiques*. *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 2008, volume II
- Rockware (2011). *Guide d'utilisation de Rockworks 15*.
- Trabelsi N. (2007). *Contribution d'un SIG à la gestion des ressources en eaux souterraines : cas de la nappe profonde de Sfax, Tunisie*. *Géomatique Expert* 54.