APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE POUR LA CONSTRUCTION DE LA BASE DE DONNÉES DE LA CARTE MORPHO-PÉDOLOGIQUE DANS LE DOMAINE ARIDE

par Aziza Ghram Messedi

Laboratoire de cartographie géomorphologique des milieux, des environnements et de la dynamique (CGMED), faculté des sciences humaines et sociales de Tunis,
Université de Tunis, 94, Avenue 9 Avril 1938.
ghramaziza@gmail.com

Dans ce travail on s'est focalisé sur la mise en place d'une approche méthodologique pour la construction de la base de données de la carte morpho-pédologique. L'objectif est de montrer l'intérêt de cette méthode cartographique dans le contexte d'une recherche géomorphologique dans le domaine aride. En effet, les unités morpho-pédologiques correspondent en général à des formes stables et héritées, et les conditions actuelles arides les rendent très fragiles et limitent leur potentiel pour les écosystèmes et les agrosystèmes. Dans ce contexte, les Unités Morpho-Pédologiques (UMP) correspondent le mieux dans notre cas à des Unités Spatiales de Référence (USR) (Ghram 2009). *L'approche méthodologique de ce travail repose sur l'élaboration d'un système d'information géographique, basé sur la télédétection, les cartes thématiques existantes et les observations du terrain. Le but de notre approche étant d'uniformiser le système de représentation afin de mettre à la disposition des géomorphologues une base de données type (Geodatabase) qui peut être utilisée systématiquement dans l'élaboration des cartes morpho-pédologiques.*

Derrière une carte il y a toute une réflexion de base. Il s'agit d'un ensemble de questions qui tourne autour de la conception cartographique : Quel est l'objet de notre construction cartographique ? Quelles sont les outils adéquats pour élaborer une carte ? Comment mettre en œuvre une carte ? Pourquoi et pour qui cartographier ?

Dans le cas de la carte morpho-pédologique la réponse à ces questions vient à travers la mise en place d'une méthodologie qui a pour objet la conception d'un modèle cartographique. Ce modèle peut être considéré comme une base conceptuelle en vue de l'élaboration d'une cartographie intégrée du milieu physique. Il repose sur les étapes suivantes :

- L'étude des besoins et l'acquisition des données ;
- La modélisation conceptuelle, et la définition des objets et des classes de relation : de la construction d'un dictionnaire de données à la conception d'un modèle conceptuel ;
- La sélection des types de représentations géographiques ;
- L'appariement de ces types à ceux du modèle GeoDatabase morpho-pédologique ;
- L'organisation de la structure de la base de données spatiale par simplification des données géographiques pour la cartographie (la généralisation cartographique) ;
- L'édition de la carte et la réflexion sémiologique.

La cartographie des différentes unités morpho-pédologiques a pu être réalisée grâce aux techniques récentes à partir de traitements d'image satellite (photo-interprétation, classification radiométrique), combinée à des observations de terrain (à l'échelle de la station), en se servant de différents documents déjà existants (cartes : topographiques, géologiques, pédologiques, géomorphologiques, des systèmes écologiques) et des campagnes de mesures spectro-radiométriques pour l'identification des états de surface. Ces données sont stockées, structurées et analysées en utilisant un système de gestion de base de données (SGBD) puis un système d'informations géographique (SIG).

Le choix des régions arides repose sur le fait que les unités morpho-pédologiques dégagées dans ces zones sont en général des formes héritées du passé, et les conditions actuelles arides les rendent très fragiles. Leurs capacités à répondre à l'exploitation qu'en fait l'homme pourront être évaluées au sein de

chaque unité. Ainsi, la cartographie de ces unités peut contribuer à la réalisation d'un constat préliminaire sur le potentiel morpho-pédologique afin d'appréhender les interactions entre les composantes biophysiques du milieu et les différents usages des ressources naturelles par les populations.

La carte morpho-pédologique : présentation des unités spatiales de référence (USR)

Revenons brièvement sur le développement du concept morpho-pédologie. En effet, Bétard et Bourgeon (2009) rappellent l'origine, les principes et l'évolution de la cartographie morpho-pédologique telle qu'elle a été pratiquée par les chercheurs francophones à travers quelques exemples de réalisations.

Ce terme « morpho-pédologie » a été employé pour la première fois dans deux articles scientifiques: d'abord un exposé général de Kilian (1972) sur les principes et buts de cette technique cartographique, exposé suivi de peu par la présentation d'un exemple par Bertrand (1972). Ces cartes étaient l'affaire des pédologues et c'est vers les années 90 que Petit (1990) a montré que « la recherche morpho-pédologique concerne au premier chef les morphologues ». Le concept morpho-pédologie doit donc prendre en compte le territoire comme un ensemble dynamique. Dans cet ensemble il y a les formes de reliefs, et des matériaux variés, avec une hydrodynamique et une morpho-dynamique spécifiques dont il faut tenir compte au même titre que du sol (Raunet 1989).

L'approche adoptée dans ce travail est celle initiée par Kilian (1974) et Tricart (1974). L'objectif de l'article est de montrer l'intérêt de cette approche cartographique dans le contexte d'une recherche géomorphologique dans le domaine aride. En effet, les liens étroits entre morphologie, nature des formations superficielles et organisation de la couverture pédologique constituent une caractéristique des régions arides (Rognon 1980). De plus, ces unités morpho-pédologiques correspondent en général à des formes stables et héritées, et les conditions actuelles arides les rendent très fragiles et limitent leur potentiel pour les écosystèmes et les agrosystèmes. L'extension de ces unités est fixe dans le temps, par rapport à leurs états de surface qui eux traduisent à court terme les changements climatiques et anthropiques (Ghram 2009). Dans ce contexte, les Unités Morpho-Pédologiques (UMP) correspondent dans notre cas à des Unités Spatiales de Référence (USR). Ces unités spatiales sont incontournables dans le cadre de la mise en place d'un suivi, voire d'une surveillance. En effet, elles sont déterminantes pour le développement des systèmes écologiques en fonction des variations climatiques, ainsi que pour les pratiques agricoles en fonction des stratégies des ménages (Ghram 2009).

Le développement de la méthode de cartographie morpho-pédologique

Le but de notre approche est d'uniformiser le système de représentation afin de mettre à la disposition des géomorphologues une base de données type qui puisse être utilisée systématiquement dans l'élaboration des cartes géomorphologiques et morpho-pédologiques. Cette méthode montre aussi la face cachée de la carte à travers la mise en place de tout un processus qui part de la création à la mise en forme de la carte. Dans ce processus on considère la carte comme un « projet » dont il faut définir les besoins afin de s'assurer des contraintes et des ressources. Afin de faire vivre ce projet il faut impérativement lui attribuer un « cycle de vie » à partir des moyens et des technologies modernes d'acquisition et de mise à jour des données. La construction de la carte repose aussi sur un travail de collecte, de structuration et de spatialisation. Le projet cartographique finit par une mise en « œuvre visuelle » que l'on déchiffre à partir de sa symbolisation et sa légende. Ainsi, la méthodologie repose sur deux grandes phases de travail. Une phase de recueil, de conception et de modélisation de la base de données descriptive dans un système de gestion de base de données (SGBD). Une deuxième phase de mise en place d'un système d'information à référence spatiale allant de la Géodatabase à l'intégration et à la symbolisation des informations dans un logiciel de SIG.

Modélisation et mise en place de la base de données descriptive de la carte morpho-pédologique

La conception cartographique est une activité complexe mettant en œuvre à la fois des aspects intellectuels et visuels, des outils technologiques et non technologiques, et qui relève d'une ou de plusieurs disciplines (Dent *et al.* 2008). Cette partie de l'article, nettement plus technique, propose quelques réflexions méthodologiques concernant l'analyse préalable des besoins en données et leur modélisation précédant le traitement spatial.

Dans ce travail, on a commencé par la préparation et l'adaptation des données pour un SGBD. La

méthodologie qui a abouti à la réalisation de ce SGBD est résumée par le schéma de méthodologie générale (fig. 1). Ce schéma montre que le processus de conception des bases de données est généralement subdivisé en trois étapes : une étape conceptuelle qui aboutit à la définition d'un modèle de données, une étape d'implémentation logique et une étape de mise en œuvre et d'exploitation sur une machine à l'aide du SGBD choisi (fig. 1).

L'expression des besoins

La conception même de la carte impose une sélection des données acquises et un choix de représentation : par sa nature même toute carte impose une démarche réductrice et donc sélective (Rossi 2011). L'expression des besoins est extrêmement importante dans la mesure où elle permet le choix des données et de leurs sources. La phase d'expression et d'analyse du besoin permet aussi de décrire les fonctionnalités de la base de données et les contraintes.

Pour cela il est nécessaire de réaliser un inventaire exhaustif des entités actuelles et futures rentrant dans la gestion des données morpho-pédologiques. Ces entités représentent des objets tels un réseau hydrographique, une unité topographique, une unité administrative, etc. Les relations entre les entités sont également répertoriées selon des règles et procédures spécifiques. Dans ce travail les besoins en données s'articulent autour de six grands thèmes (fig. 2). Ces derniers englobent tout d'abord, les délimitations administratives et climatiques de la région d'étude, puis la description exhaustive des caractères pédologiques et morphologiques. Pour finir nous intégrons les aspects topographiques, hydrographiques et hydrologiques.

La proposition d'une structure doit correspondre aux besoins des futurs utilisateurs du système de bases de données morpho-pédologiques. Il s'agit donc dans notre cas de proposer une structure de données sur les aspects morpho-pédologiques utiles et nécessaires à la gestion de ces ressources. Le stockage de ces données prend une forme structurée et uniforme pour l'ensemble du domaine aride tunisien. Dans ce travail, les thèmes proposés forment une liste exhaustive des données qui peuvent caractériser et cartographier les paysages morpho-pédologiques au sens large. Dans ce contexte, on a opté pour intégrer une panoplie de données morphologiques. Ces dernières seront cartographiées pour former un fond de base pour la description morpho-pédologique.

Dictionnaire brut des données et conception de la base de données

L'analyse des besoins débouche sur un inventaire détaillé de l'information disponible. Le but de ce diagnostic est de cerner la codification utilisée, de mettre en place les outils d'homogénéisation des données et de réaliser le dictionnaire descriptif des différentes entités. Ce dictionnaire prend en compte l'organisation des données et leurs relations. Nous avons ici subdivisé les données selon leur description sémantique (nom et type du thème) sans tenir compte de leur implantation géométrique (ligne, point, polygone) (fig. 3).

Le modèle conceptuel

Il s'agit d'une schématisation graphique pour mieux symboliser la représentation, la structure et les relations qui associent les différents types de données. Cette schématisation utilise le logiciel spécifique Power AMC®. Dans ce logiciel nous traitons les entités constitutives de la base de données morpho-pédologiques afin de concevoir un modèle conceptuel de données (MCD) avec la méthode Merise. C'est une démarche de conception et de développement des systèmes d'information, incluant entre autres, l'informatique, et basée sur le modèle entité-association (Rochfeld *et al.* 1989). Cette méthode permet de passer du niveau conceptuel au niveau logique et du niveau logique au niveau physique, de façon limpide et ordonnée. Chaque entité est caractérisée par un nom, un code et un type. Une des particularités de la démarche adoptée dans ce travail est la séparation entre structure des données et traitements. Cette démarche qui permet d'élaborer une représentation la plus proche possible du réel perçu vise la production d'un modèle conceptuel de données (MCD) qui synthétise les entités et les relations à l'aide d'un formalisme qui découle des règles existantes ou envisagées : Un bassin versant peut contenir une ou plusieurs unités morpho-pédologiques - Une unité morphologique peut contenir une ou plusieurs unités pédologiques - Une unité morpho-pédologique est drainée par un ou plusieurs cours d'eau, etc.

Du modèle physique des données morpho-pédologiques à l'intégration d'un SGBD

Le modèle conceptuel permet également de manipuler le modèle physique de données (MPD) (fig. 5) ainsi que la génération des scripts. Le MPD permet de générer une base de données dans un système de gestion de base de données (SGBD).

Pour cela le logiciel Microsoft Access® est utilisé. La création de la base est réalisée à l'aide de la commande ODBC (Opering Data Base Connectivity) (fig. 6).

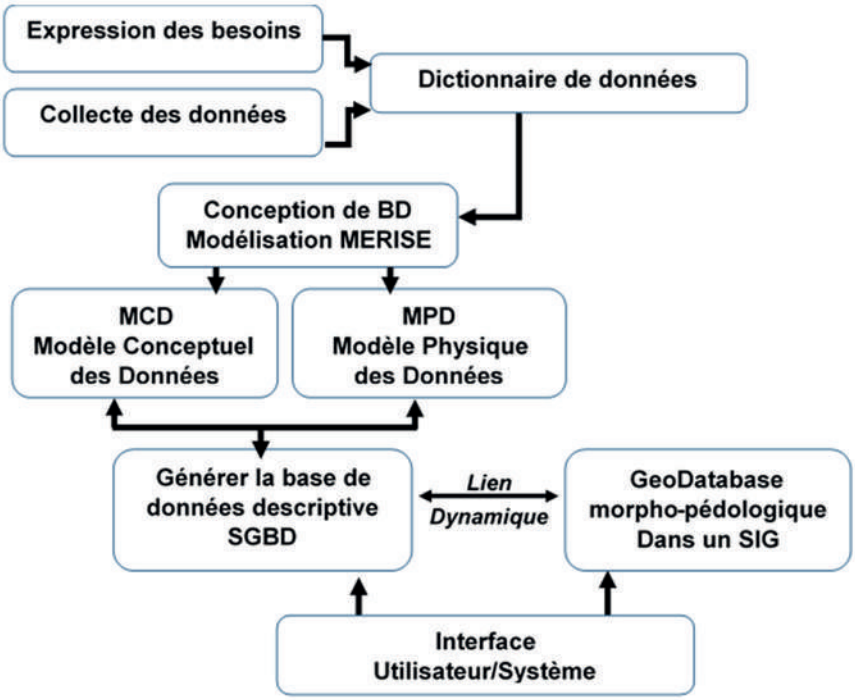

Figure 1 : Démarche de conception d'un SGBD

Thème	Description
Délimitation de la région	Délimitation administrative et climatique
Morphologie	Les aspects morphologiques correspondent à plusieurs sous thèmes ; morpho-structurale (lithologie, tectonique, les formes structurales) et les formations quaternaires (liées à l'eau courante ou aux effets éoliens)
Pédologies	Une description exhaustive des aspects pédologiques de la roche mère à l'état de surface en passant par les horizons et la caractérisation physico-chimique, granulométrique et minéralogique
Bassin et sous bassin versant	La délimitation de ces unités dans la zone d'étude facilite l'interprétation du contexte des paysages morpho-pédologiques.
Hypsométrie	Ce sont les données relatives aux données topographiques (les courbes de niveau et les cotes d'altitude)
Hydrographie	La description du système hydrographique de la zone : les dépressions fermées (sebkhas et garaa) et les oueds.

Figure 2 : Les thèmes concernés par la cartographie morpho-pédologique

Mnémonique	Libelle	Nom d'attribut	Type d'attribut	Description d'attribut
REG	Informations sur la région	ID_REG	N (8)	Identifiant de la région
		NOM_REG	Varchar (50)	Nom de la région
		PER_REG	Entier	Périmètre de la région
		SUR_REG	Entier	Surface de la région
BAS_VER	Informations sur le bassin versant	ID_ BAS_VER	N (8)	Identifiant du bassin versant
		NOM_ BAS_VE	Varchar (100)	Nom du bassin versant
		PER_ BAS_VE	Entier	Périmètre du bassin versant
		SUR_ BAS_VE	Entier	Surface du bassin versant
		TYP_ BAS_VE	Varchar 100)	Types du bassin versant
DON_PED	Informations sur les données pédologiques	ID_PED	N (8)	Identifiant de données pédologiques
		TYP_PED	Varchar (100)	Types des données pédologiques (classe de sol)
		NOM_PED	Varchar (100)	Nom des données pédologiques
		FOR_PED	Varchar (100)	Formes des données pédologiques (état de surface)
		SUR_PED	Entier	Superficie des données pédologiques
		PER_PED	Entier	Périmètre des données pédologiques
HPS	Informations sur l'hypsométrie	ID_ HPS	N (8)	Identifiant d'hypsométrie
		TYP_ HPS	Varchar (100)	Type d'hypsométrie : (Courbe de niveau, Cote altitude)
HYD	Informations sur l'hydrographie	ID_ HYD	N (8)	Identifiant de l'hydrographie
		TYP_HYD	Varchar (100)	Type d'hydrographie : (Oued, Sebkha, Garaa)
		SUR_HYD	Entier	Surface d'hydrographie
		LONG_ HYD	Entier	Longueur d'hydrographie
		PER_HYD	Entier	Périmètre d'hydrographie
DON_GEOM	Informations sur les données géomorphologiques	ID_D_GEOM	N (8)	Identifiant des données géomorphologiques
		TYP_D_GEO	Varchar (100)	Type des données géomorphologiques
		NOM_D_GEO	Varchar (100)	Nom des données géomorphologiques

Figure 3 : Extrait du dictionnaire brut des données

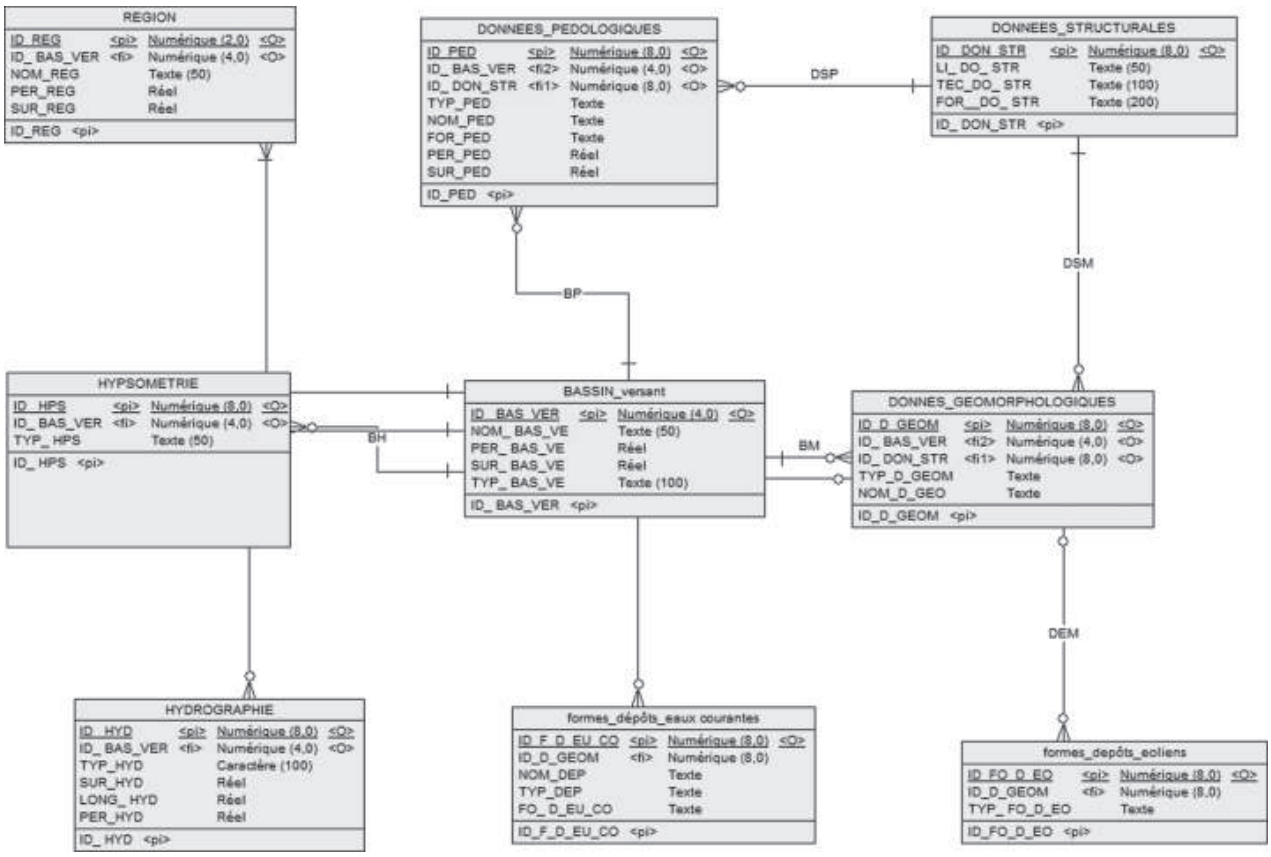

Figure 4 : Extrait du modèle conceptuel de la base de données morpho-pédologique (MCD)

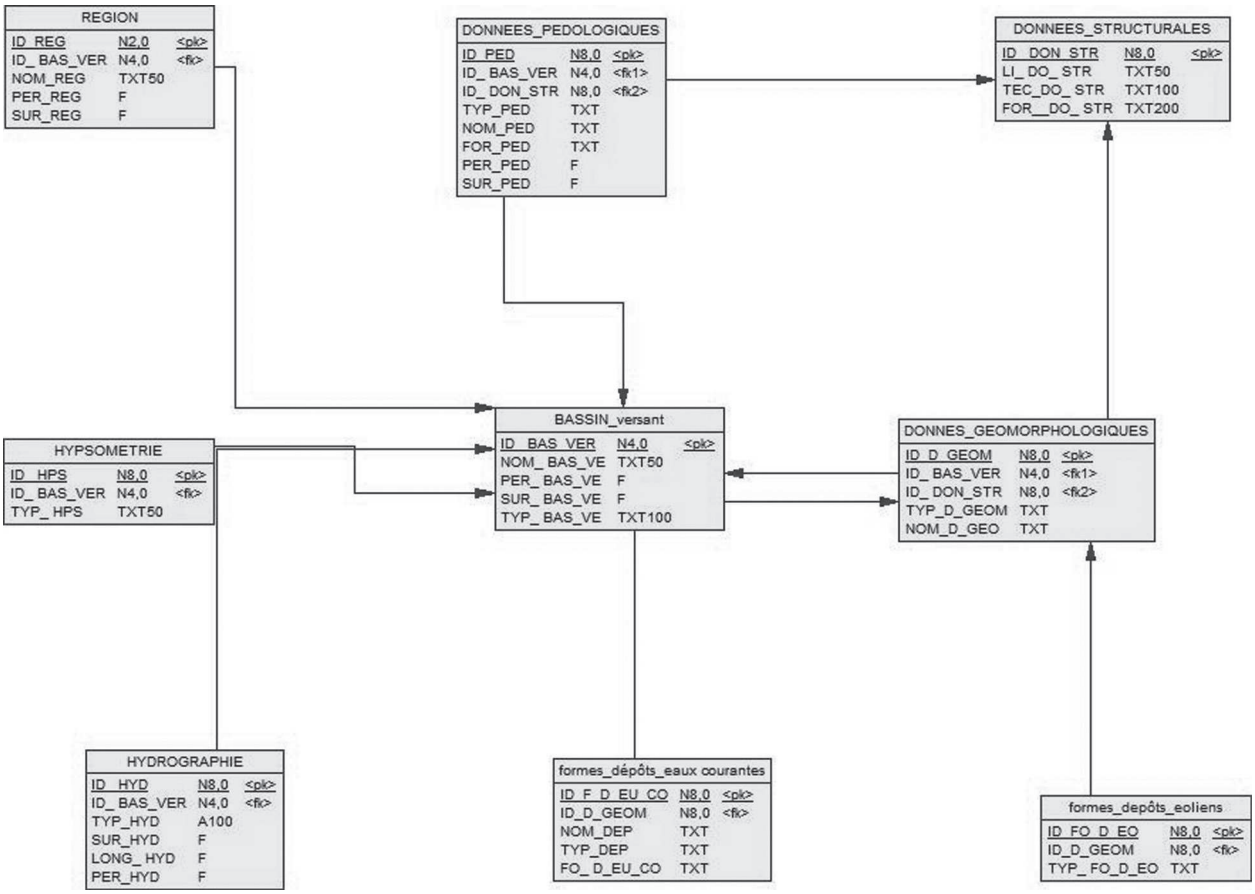

Figure 5 : Extrait du Modèle physique de la base de données morpho-pédologique (MPD)

Dans le SGBD morpho-pédologique les données recueillies sur les différents éléments du système sont mises en place par la création et le saisi des différentes tables alphanumériques. La BD descriptive est connectée de façon dynamique avec les SIG pour renseigner les différentes données géographiques par jointure et permettre les opérations de mise à jour.

Du SGBD à la construction d'une Géodatabase

Pour notre cas d'étude, nous avons mis en place une base de données descriptive qui sera intégrée à un SIG. Une connexion dynamique à partir d'ArcCatalog® via le serveur OLE DB (Object Linking and Embedding Database) est effectuée. Ce serveur est un gestionnaire de connexions entre la source de données Access et la Géodatabase morpho-pédologique d'ArcGis. A partir de cette connexion, toutes les tables apparaissent dans ArcCatalog® et peuvent donc être utilisées pour des traitements. Les classes d'entités créées dans la Géodatabase correspondent à région, bassin versant, pédologie, morphologie, hydrographie, hypsométrie, etc… (fig. 7).

De la collecte des données à la mise en place d'un système d'information de la carte morpho-pédologique

La collecte de données

La réalisation d'une carte morpho-pédologique repose sur une collecte importante de données. L'approche méthodologique s'appuie sur la préparation d'un système d'information géographique, basé sur des données issues de la télédétection (par photo-interprétation et extraction d'informations radiométriques), des cartes thématiques existantes (les cartes géologiques, la carte d'utilisation des sols, la carte des systèmes écologiques et la végétation, etc.), et des mesures radiométriques et observations directes du terrain (fig. 8). Ces données permettent d'élaborer une meilleure cartographie, une bonne identification et caractérisation des unités morpho-pédologiques.

La mise en place d'un système d'information de la carte morpho-pédologique

Un Système d'Information Géographique (SIG) permet l'homogénéisation de données diverses relatives à l'environnement, la réactualisation rapide des données, la conservation des données anciennes et l'obtention de données synthétiques. Dans ce contexte, les SIG sont loin d'être considérés comme des outils permettant uniquement la production de cartes, ils constituent un ensemble de matériels et de logiciels donnant la possibilité d'intégrer et d'analyser spatialement des données multi- sources.

Afin de bien gérer les informations recueillies, une superposition des documents anciens et récents a été envisagée. Le principe de base est de délimiter des unités spatiales de référence permettant l'identification des caractéristiques du milieu physique relativement stables à moyen terme (topographie, géomorphologie, pédologie, hydrographie). Cette première base servira à mettre en place un réseau de stations d'observation représentatif de l'ensemble des unités délimitées. Ces unités tiennent compte dans leur distribution des systèmes écologiques, des pratiques agro-pastorales des populations et de la nature de leur évolution à très court terme. La cartographie des unités morpho-pédologiques (UMP) constitue la finalité cartographique de ce travail.

Application de la méthode de cartographie des unités morpho-pédologiques aux basses plaines méridionales tunisiennes

L'exemple présenté dans ce travail concerne une région naturelle, qui s'étend sur 220 000 ha et englobe la totalité du bassin versant de la sebkha Sidi Mansour au sens large : elle correspond à un ensemble de bassins versants de tailles variables. La région fait partie de l'étage bioclimatique méditerranéen aride inférieur. Elle est caractérisée par des précipitations irrégulières et faibles (moyenne annuelle estimée à 175 mm). Ces précipitations présentent souvent un caractère orageux avec une intensité très forte, ce qui provoque un ruissellement important et par conséquent une mauvaise recharge en eau des sols. Ces conditions climatiques n'offrent à la vie végétale que des contraintes à son développement, limitant ainsi le nombre d'espèces existantes (Belghith 1997).

La région est un exemple représentatif de la Tunisie aride, où les équilibres naturels se sont rompus à partir de la fin des années soixante-dix et du début des années quatre-vingt, suite à l'augmentation de la pression anthropique. Actuellement, l'utilisation excessive de cette végétation (pâturage, prélèvement pour le bois de chauffage), a conduit par endroit non-seulement à la disparition du couvert végétal mais du sol lui-même.

Les basses plaines méridionales se distinguent par une grande diversité des conditions géomorphologiques et édaphiques (extension des piémonts et des plaines façonnées dans les argiles

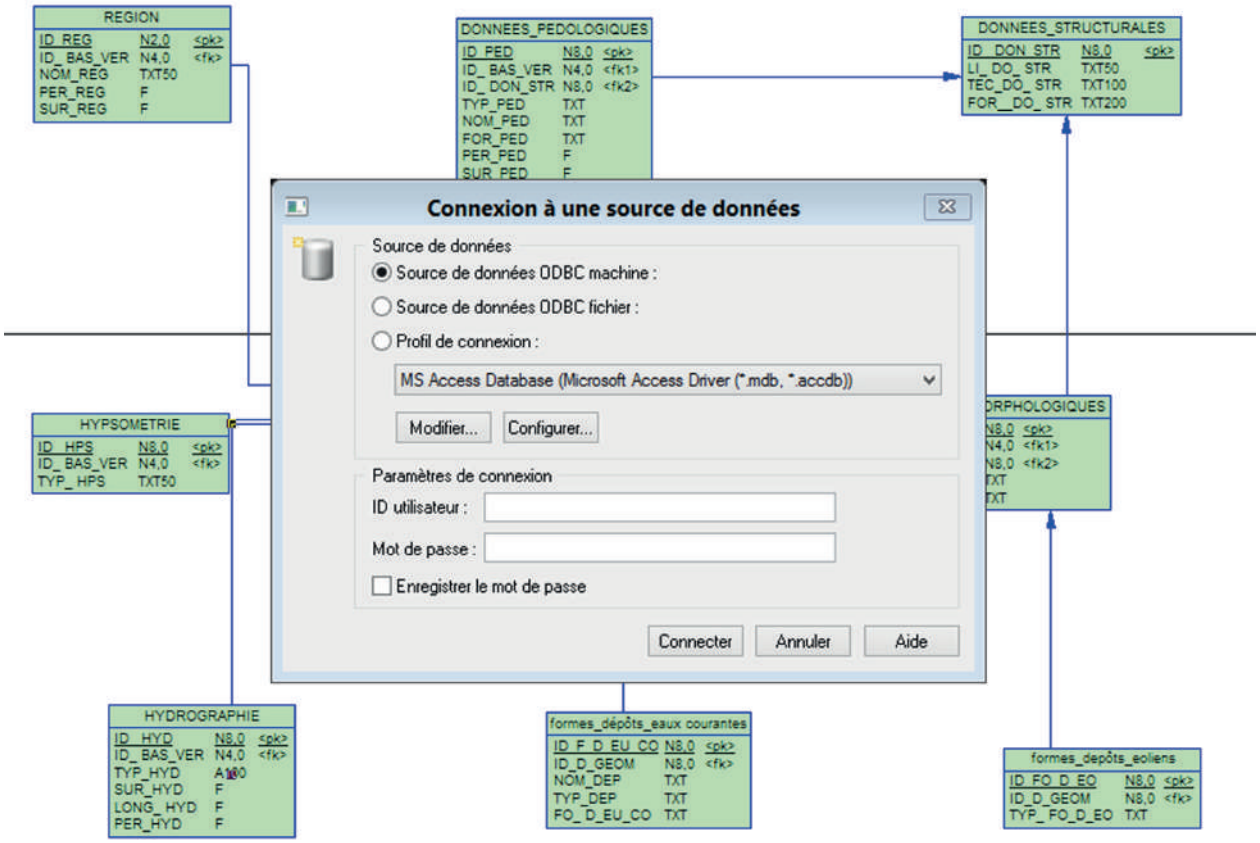

Figure 6 : Connexion à une source de données ODBC

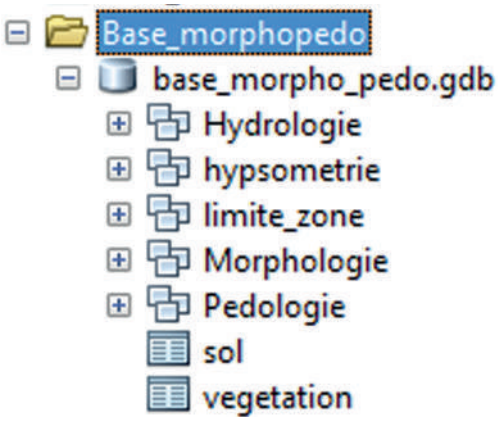

Figure 7 : Extrait de la Géodatabase

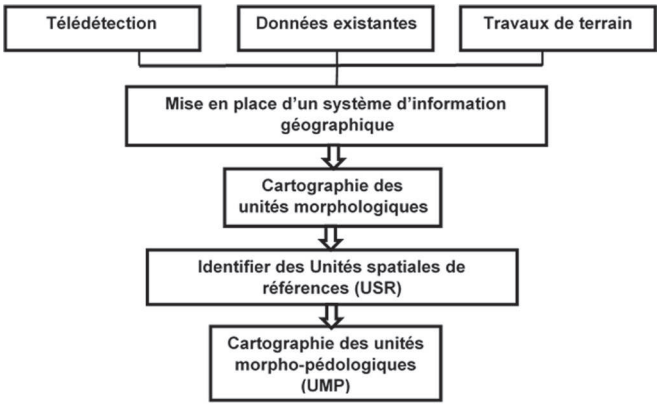

Figure 8 : Approche méthodologique pour la cartographie des unités morpho-pédologiques dans un SIG

gypseuses du Mio-Pliocène) (fig. 9). Actuellement, la dynamique morphologique est caractérisée par une forte érosion hydrique (sur les terrasses et les glacis) et par des phénomènes éoliens importants dans les plaines sableuses, qui se manifestent par de la déflation dans certaines zones et par de l'accumulation dans d'autres (érosion éolienne favorisée après la disparition du couvert végétal sur les substrats sablo-limoneux).

Structure et contenu de la base de données cartographique des unités morpho-pédologiques des basses plaines méridionales

Au cours des dernières décennies, de graves problèmes de dégradation des sols ont marqué les régions arides du sud Tunisien. Ces événements ont causé des changements de paysages, des pertes du potentiel naturel et la prolifération des manifestations de désertification. De ce fait, améliorer la gestion de ces paysages et réduire les risques de désertification est un enjeu essentiel. Cet article propose un des instruments qui pourraient être inclus dans un système de gestion, de surveillance, de suivi et d'aide à la décision pour le contrôle des phénomènes de désertification à l'échelle des régions arides. L'exemple présenté est le fruit d'un processus de traitements qui comprend un modèle conceptuel de données ainsi qu'une Geodatabase morpho-pédologique.

Les données utilisées

La démarche méthodologique suivie pour la réalisation de la cartes morpho-pédologique, repose essentiellement sur trois types de données :

- Les données images : il s'agit d'image satellite issue des plateformes *Landsat 5* du capteur *Thématic Mapper* (TM) datant du 31 mars 1999. Cette image est géoréférencée et corrigée radiométriquement. Avec ce type d'images, il est possible de se situer à un niveau de perception (moyenne échelle : 1/50 000) tel que les variables géomorphologiques, la couverture végétale, et d'une façon plus générale les formations superficielles sont discernables non seulement par leur signature spectrale mais également par leur structure (chenaux de ruissellement, formations dunaires, implantations humaines…) (Foin, 1987).

- Les données cartographiques : Plusieurs types de cartes sont disponibles sur la région. Il s'agit des différentes cartes topographiques, géologiques et thématiques (pédologique, carte des systèmes écologiques). L'ensemble a été numérisé et géoréférencé, puis intégré dans le SIG. Ces données forment la base biophysique de la géodatabase de la région d'étude.

- Les données de terrain (mesures radiométriques et observations de terrain) : un réseau de 297 stations de terrain d'aire moyenne de l'ordre de 100 m² a été choisi. Elles ont été placées de manière à couvrir l'ensemble des unités morphologiques les plus représentatives de la région, principalement sur les piémonts et dans les plaines. La description de ces stations relève d'un certain nombre de caractères biophysiques et humains pour chaque station (topographie, morphologie, état de surface, pédologie, couverture végétale, formes d'érosion ou d'accumulation et état de dégradation, occupation des sols et aménagements présents). D'autre part, la description renseigne sur les caractéristiques radiométriques. En effet, un grand nombre de mesures de terrain a été réalisé dans la région à l'aide d'un spectroradiomètre portable (Personal Spectrometer de la marque ASD). Cet appareil couvre les domaines du visible et du proche infra-rouge, de 370nm à 1070nm, avec un pas de longueur d'onde de 5nm. Les différentes mesures radiométriques faites sur le terrain ont fait l'objet de plusieurs traitements afin de mettre en évidence les relations entre les objets observés au sol et l'information apportée par les satellites.

La totalité de ces données acquises à partir du terrain a servi pour la création d'une base de données alphanumérique sur l'état du milieu qui est intégrée dans le SGBD morpho-pédologique de la région puis dans le SIG.

Les données issues des différentes sources sont organisées autour d'un modèle informatique. Elles sont physiquement implantées dans un système de gestion de base de données relationnelle (SGBDR), en liaison dynamique avec un logiciel SIG. De ce fait, l'ensemble constitue un véritable Système d'Informations à Références Spatiales, capable de décrire et caractériser l'environnement et le contenu spécifique des différents paysages morpho-pédologiques de la région.

La généralisation cartographique des unités morpho-pédologiques

La préparation du modèle de la base de données a facilité l'organisation et la structuration spatiale des informations géographiques.

Comme nous l'avons déjà précisé, la cartographie morpho-pédologique (fig. 7) repose sur un découpage morphologique détaillé de la région d'étude. En effet, la morphologie structure l'espace en trois grands domaines : montagne, piémont et plaine. La distinction d'unités morphologiques de détail

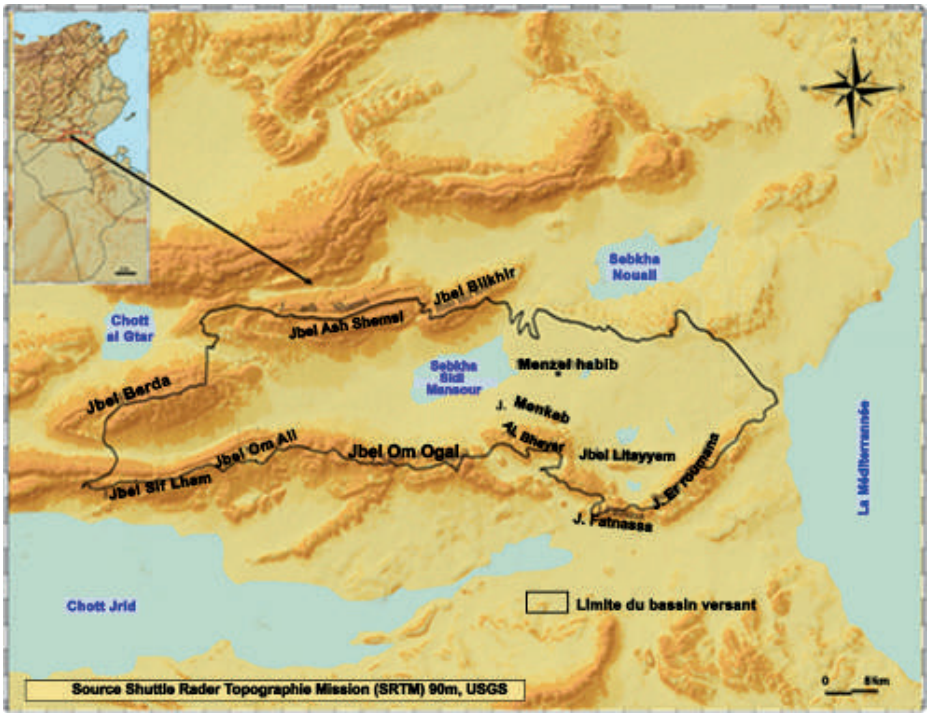

Figure 9 : Carte de localisation de la région des basses plaines méridionales

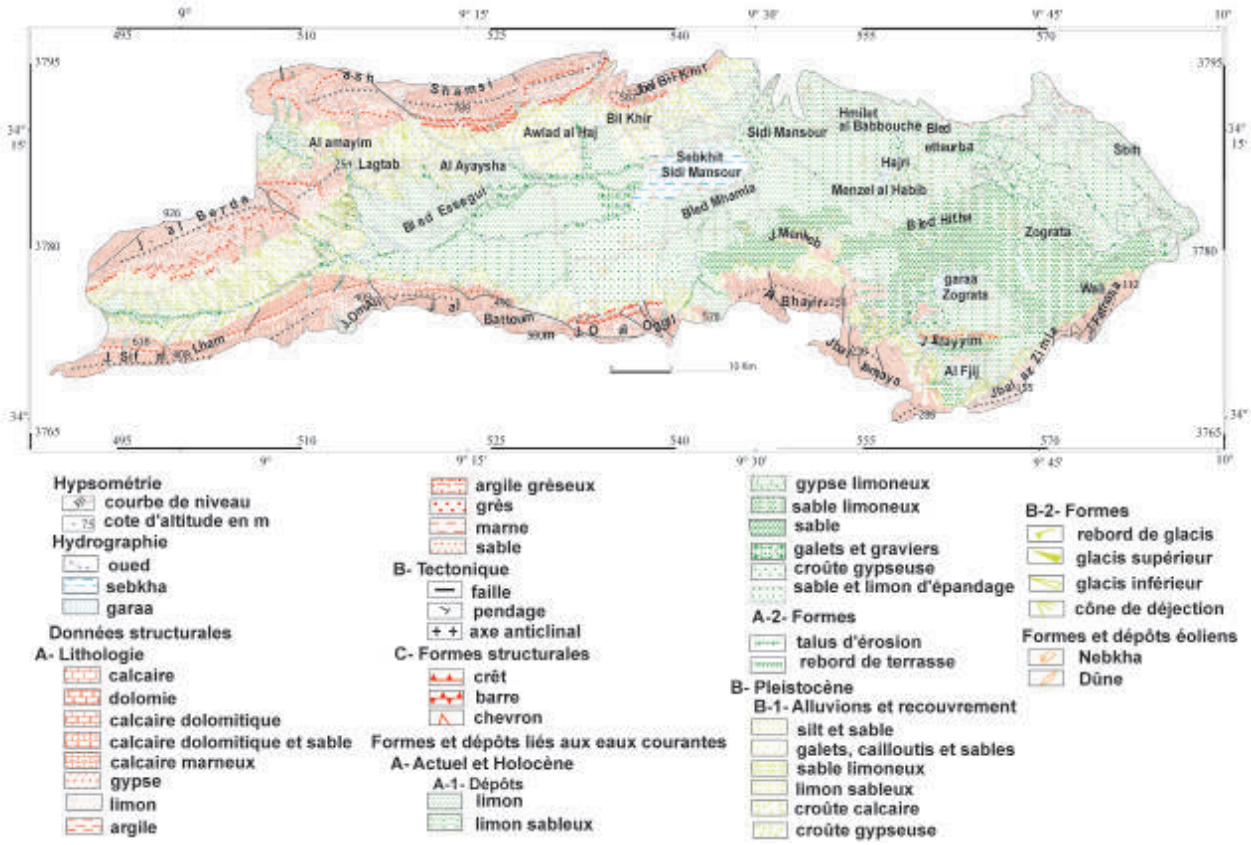

Figure 10 : Carte des unités morphologiques des basses plaines méridionales

comme les crêtes, les cônes de déjection, les glacis, les terrasses, etc. permet de subdiviser en différents secteurs chacun de ces trois domaines (Ghram 2009). Ce découpage se fonde essentiellement sur les données issues des relevés de terrain, ainsi que sur les documents cartographiques existants (topographie, géologie et géomorphologie) et de l'image satellite.

La carte morphologique est une combinaison de plusieurs types d'informations (fig. 10). La complexité de l'information présentée par ce type de carte cache une banque de données gigantesque. L'existence de cette banque s'exprime à travers une légende détaillée et un travail important de symbolisation. Ce système de représentation met à la disposition des géomorphologues une base de données nationale qui peut être utilisée systématiquement.

La superposition des différents types de sols de la région et des unités morphologiques existantes, permet d'obtenir des combinaisons morpho-pédologiques. Dans notre cas, le secteur est subdivisé en plus de 400 polygones, de surfaces variables, répartis en vingt classes morpho-pédologiques**.** La région présente ainsi un grand nombre d'unités différentes, fortement morcelées dans l'espace. En effet, à partir des versants à dominance d'éléments grossiers (Jebals Ash Shemsi, jebel Belkhir, jebel Sif laham,…) jusqu'aux dépressions fermées (sebkas et garaa) et en passant par les piémonts et les plaines, vingt unités morpho-pédologiques différentes ont pu être distinguées.

Edition de la carte morpho-pédologique et réflexion sémiologique

Dans cette étape du travail, la représentation cartographique des unités morpho-pédologiques est réalisée à l'échelle 1 : 100 000. La symbolisation des classes d'unité morpho-pédologique est une étape majeure et centrale de la cartographie. Elle consiste à choisir la représentation adaptée à la problématique et à la région d'étude. En effet, le langage cartographique n'est pas qu'une technique ; par l'arrangement des figurés, il aboutit à une mise en forme, qui est une réponse à la problématique posée (Joly *et al* 1999). Les choix posés en matière de symbologie conditionnent la bonne lisibilité et la conformité de la carte. Dans notre cas d'étude de cartographie des régions arides et afin de distinguer entre les différentes unités morphologiques, on a opté pour la combinaison de différentes variables visuelles. Ce système combine en effet des trames et des couleurs. Grâce aux couleurs nous pouvons distinguer les différentes unités de relief et les trames caractérisent les types de formation pédologique.

Il ne s'agit pas uniquement de choix esthétiques, mais aussi, et surtout, de rigueur cartographique. En effet, nous avons adopté une solution de simplification de la représentation morpho-pédologique. Contrairement à la méthode de représentation utilisée dans plusieurs études et qui présente une légende complexe sous la forme d'un tableau à double entrée, les composantes principales de chaque paysage morpho-pédologique (modelé, géologie, altération, sols) sont représentées en colonnes tandis que les grandes unités figurent en lignes (Bétard et Bourgeon 2009). La légende ne donne pas un aperçu complet de l'inventaire réalisé et de la démarche employée. La distinction est alors faite entre les unités représentées aux niveaux des grands éléments de reliefs (versant, piémont, plaine et bas fond) et l'unité du sol et leur formation (fig. 11).

A l'aide de la légende proposée, une carte morpho-pédologique des basses plaines méridionales est mise en place (fig. 11). Comme la plupart des régions arides, les basses plaines méridionales présentent une grande diversité des conditions géomorphologiques et édaphiques entre versants (alternances de calcaires et de marnes du Crétacé), piémonts (glacis à croûtes gypseuse ou calcaire sur un matériel sablo-argileux, cônes de déjection à matériau grossier et hétérométrique) et plaines (terrasses alluviales, plaines d'épandage sableuses, limoneuses ou à croûte gypseuse). La cartographie de ces unités a contribué à la réalisation d'un constat préliminaire sur le potentiel morpho-pédologique. Ce constat nous aidera à appréhender les interactions entre les composantes biophysiques du milieu et les différents usages des ressources naturelles par les populations.

Conclusion

La mise en place de la base de données morpho-pédologique a permis de rassembler et de rendre homogène l'ensemble des informations indispensables au sein d'une structure relationnelle cohérente. L'approche méthodologique développée dans ce travail montre que la réussite d'une cartographie réside en partie dans le développement des modèles de structuration des bases de données et dans la cartographie et l'utilisation d'outil d'analyse spatiale dans un SIG. Le système développé dans ce projet, qui s'articule autour des liaisons *Modèle de BD - SGBD - SIG* a été d'une grande utilité et constitue une base de départ non négligeable pour le développement d'outils de cartographie et de gestion des données morpho-pédologiques. La Géodatabase utilisée pour la cartographie morpho-pédologique dans les basses plaines méridionales orientales peut s'adapter à d'autres sites des régions arides comme la Jeffara.

	Unités morpho-pédologiques
Versant	Mini versant de raccordement à croûte gypseuse
	Versant avec un sol minéral brut : lithosol avec calcaire associé à régosol argileux gypseux
	Versant avec un sol minéral brut : régosol sur argile ou marne associé à lithosol calcaire
	Versant avec un sol minéral brut : lithosol sur roche dure calcaire ou grès
	Versant avec un sol minéral brut: régosol sur argile ou gypse
Piémont	Glacis d'ablation avec un sol peu évolué : régosol à croûte et encroûtement gypseux
	Glacis d'ablation avec un sol isohumique sablo-limoneux
	Cône de déjection avec un sol peu évolué : lithosol rocheux mêlé à une matrice limoneuse fine
	Terrasse alluviale avec un sol isohumique sablo-limoneusux
Plaine	Plaine d'épondage avec un sol peu évolué à isohumique tronqué : régolosique sur matériaux limoneux à nodules calcaires
	Plaine d'épondage avec un sol isohumique limono-sableux
	Plaine d'épondage avec un sol isohumique limoneux
	Plaine d'épondage avec un sol isohumique limoneux à croûte et encroûtement gypseux
	Plaine d'épondage avec un sol isohumique sableux à croûte et encroûtement gypseux
	Plaine d'épondage avec un sol peu évolué éolien sableux
	Plaine d'épondage avec un sol isohumique sablo-limoneux
	Plaine d'épondage avec un sol isohumique limoneux sur matériaux sablo-limoneux
Bas fond	Plaine d'épondage avec sol calcomagnésimorphe à croûte et encroutement gypseux
	Bas fond avec un sol limoneux sur matériaux sablo-limoneux
	Garaâ et sebkhat avec un sol légèrement halomorphe

Figure 11 : Légende de la carte morpho-pédologique

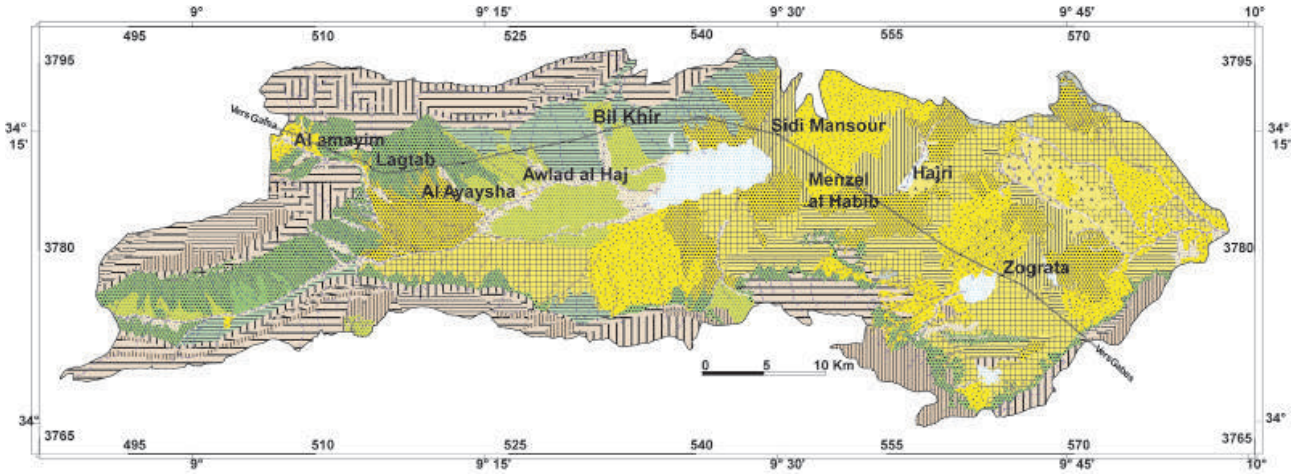

Figure 12 : Carte morpho-pédologique des basses plaines méridionales

L'objectif de cet article était aussi de montrer que la cartographie morpho-pédologique peut être aujourd'hui utilisée comme outil scientifique pour améliorer les connaissances géomorphologiques régionales. Les cartes morpho-pédologiques représentent ainsi des unités pour lesquelles relief et sol sont liés par de fortes interdépendances entre la dynamique géomorphologique et la pédogenèse. Les résultats découlant de cette étude soulignent l'importance du composant sol en géomorphologie. Dans une perspective de gestion raisonnée des ressources naturelles, la carte est un des outils majeurs qui sert de base à une gestion quotidienne des potentiels et des contraintes environnementales. Mais ces outils s'inscrivent dans une perspective plus large, un contexte interdisciplinaire dans lequel la carte trouve tout son sens comme outil de gestion du territoire. Ainsi, la connaissance des unités morpho-pédologiques est utile dans de nombreux domaines de l'aménagement du territoire et de la conservation des ressources naturelles, pour permettre une meilleure gestion et surveillance des paysages fragiles en domaines arides (répartition des activités agricoles, protection de l'environnement, gestion des risques). Il est donc indispensable de pouvoir disposer d'une information sur les propriétés des sols et sur leur organisation spatiale (Robbez-Masson *et al.* 2000).

Bibliographie

Belghith A., 1997. Etude spectroscopique, satellitaire et intégrée de la dégradation des systèmes écologiques en conditions arides (Tunisie présaharienne). Thèse de doctorat en géographie, Université Paris VII.

Bertrand R.,1972, « Morphopédologie et orientations culturales des régions soudaniennes du Siné-Saloum (Sénégal) », *L'Agronomie Tropicale*, n° 27, p.1115 -1190.

Bétard F. & Bourgeon G., 2009, « Cartographie morphopédologique : De l'évaluation des terres à la recherche en géomorphologie », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 15 - n° 3 , 187-198

Dent, B.-D., Torguson, J.-S., and Hodler, T.-W., 2008, *Cartography: Thematic Map Design*. Publisher: McGraw-Hill

Foin. P., 1987, *Cartographie topographique et thématique*. Caen, Paradigme, collection « télédétection satellitaire.

Ghram A., 2009 : La dynamique des paysages en milieux arides : Apport de la télédétection et de l'observation de terrain à l'étude de la dégradation des unités morpho-pédologiques dans la région de Menzel- Habib (Tunisie méridionale). Thèse de Doctorat en Géographie, Université de Tunis.

Joly J.-F. & Reineri R., 1999, « La carte, ça sert d'abord à enseigner la géographie », *Mappemonde* 56, n°4, p.10-14

Kilian J., 1972, « Les inventaires morphopédologiques, conceptions, applications au développement agricole », *L'Agronomie Tropicale*, 27, p. 930-938.

Kilian J., 1974, « Étude du milieu physique en vue de son aménagement. Conceptions de travail, méthodes cartographiques ». *L'Agronomie Tropicale*, 29, p.141-153

Petit M., 1990 : *Géographie physique tropicale. Approche aux études du milieu*, Khartala ACCT.

Raunet M., 1989, « Approche systémique appliquée à la cartographie morpho-pédologique du paysage ». dans Soltrop 89 : *actes du premier séminaire franco-africain de pédologie tropicale*, Lomé, 6-12 février 1989. Paris: ORSTOM, p.143-177.

Robbez-Masson J.-M., Barthes J.-P., Bornand M., Falipou P., Legros J.-P., 2000, « Bases de données pédologiques et systèmes d'informations géographiques. L'exemple de la région Languedoc-Roussillon », *Forêt Méditerranéenne* T. XXI, n°1, 2000, p. 88-98.

Rochfeld A. & Moréjon J., 1989, *La méthode Merise, Tome 3*, Paris, Les éditions d'organisation.

Rossi P., juin 2011, « La cartographie géologique », *Le monde des cartes* n°208, p.19-22

Tricart J., 1974, « De la géomorphologie à l'étude écographique intégrée ». *L'Agronomie Tropicale*, 29, p.122-132