

Système d'Information Géographique

Sommaire

Cours	3
Avant-propos	3
Chapitre I. Concepts de base	4
I.1. Historique.....	4
I.2. Concepts de bases	5
I.3. Questions auxquelles peuvent répondre les Systèmes d'Informatiques Géographiques	10
I.4. Données du système d'information géographique.....	11
Chapitre II. Logiciel ArcGIS.....	16
II.1. Architecture générale de l'ArcGIS.....	16
II.2. Principes de fonctionnement de l'ArcGIS (tout SIG).....	17
II.3. Familiarisation du logiciel ArcGIS	18
II.4. Création de couche de forme (mode vecteur).....	36
II.5. Cartographie thématique avec ArcGIS	42
Chapitre III. Application des SIG en Hydraulique et en hydrologie	52
III.1. Conception et gestion des collecteurs et des réseaux d'alimentation en eau potable (AEP)	52
III.2. Montage d'un modèle numérique du terrain (MNT).....	54
Travaux pratiques	63
TP N° 1 : Familiarisation avec l'environnement ArcMap et ArcCatalog	64
TP 2. Méthodes de Géoréférencement.....	65
TP N°3. Création de couche de forme	67
TP N° 4. Mise en page et production de cartes	68
TP 5. Applications des SIG (hydraulique, hydrologie)	69
Références bibliographiques	70
Liste des figures	72
Liste des tableaux	73

Avant-propos

Le traitement des données localisées s'est largement généralisé avec l'accessibilité, de plus en plus croissante, aux outils numérique. Ainsi, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont désormais utilisés dans tous (ou presque) les domaines, et par un public de plus en plus large.

Ce module est adressé à un public débutant, il s'agit d'initier les étudiants de Master 2 Hydraulique aux SIG, en leur présentant, dans un premier temps, les concepts de bases en SIG (composition des SIG, types de données), puis leur expliquer l'intérêt croissant des SIG d'une manière générale et pour leur discipline plus particulièrement. On finit, par une présentation du logiciel ArcGIS et l'acquisition d'un nombre de compétence de bases en SIG.

Le cours est accompagné par des séances de travaux pratiques dans lesquelles l'étudiant va réaliser un nombre d'opérations sur le logiciel ArcGIS.

Tenant compte de la nature du module, le support pédagogique (le polycopie) contient une partie en format papier et une partie en format numérique. Ce dernier format contient :

1. Les vidéos reprenant les démonstrations faites durant le cours (manipulation effectuées avec le logiciel ArcGIS),
2. Les fichiers numériques nécessaires pour réaliser les travaux pratiques.

Chapitre I. Concepts de base

Ce premier chapitre est consacré l'étymologique des concepts clés intervenant dans le domaine des SIG. Dans un premier temps, un aperçu historique va être donné, dans le but de mieux comprendre, leur rôle et l'évolution de leurs fonctionnalités dans le temps. Dans un second temps les concepts primordiaux que tout utilisateur, y compris un débutant, devait les connaître, vont être définis.

I.1. Historique

Contrairement à ce qu'on puisse penser, les outils de SIG sont relativement anciens, la notion s'est vue développée dans les années 60. D'une manière générale, leur histoire de développement peut être divisée, selon Souris M (2000), en quatre principales périodes :

I.1.1. Période des débuts (années 60 et 70)

Dr Roger Tomlinson appelé le père des SIG, était le premier à avoir conçu un système d'information géographique fonctionnel. Ce premier système avait comme but de planifier la grande richesse naturelle du Canada.

Cette période, peut être considérée comme étant une période de jettes des principes (des idées), où le côté théorique et les algorithmes ainsi que le niveau technologique (ordinateurs à faibles processeur et capacité de stockage) ont été très limités. A cette époque (années 60 et 70), la grande majorité des systèmes développés relevés plus de la cartographie automatisée (CAO : conception assistée par ordinateur). Néanmoins, avec l'arrivée et le développement rapide de la télédétection, au début des années 70, un véritable coup de pousse a été donné à l'infographie.

I.1.2. Période de consolidation (Année 80)

Du 80 au 90 présente la décennie de l'avancement par excellence. Les outils informatiques deviennent beaucoup plus performants (plus de capacités de stockage et de calculs), les systèmes de gestion à schéma relationnel (gestion de base de données) sont plus structurés et plus rigoureux. Néanmoins, les théories permettant de spatialiser les entités géographiques restent absentes (pas de gestion de données multidimensionnelles). Certes la théorie n'est pas au point encore, mais une réelle prise de conscience de l'importance du sujet ; ainsi de nombreuses études ont été engagées afin d'étendre le modèle relationnel aux données géographiques (Dangermond J. 1981 ; Franck A, 1981).

Le premier SIG commerciale est le Mapping Display and Analysis System (MIDAS) développé sous DOS. Ce dernier n'est qu'autre le logiciel utilisé sous Windows, et rebaptisé en 1990, MapInfo à l'occasion.

Serte à cette époque est celle de la consolidation sur les plans théorique et technique, néanmoins, et tenant compte du coût du matériel informatique dans les années 80, les outils SIG à cette époque restent loin d'être à portée du grand public.

I.1.3. Période de la diffusion : les années 90

La large diffusion des outils informatiques est reliée directement à la baisse du prix du matériel informatique (micro-ordinateur, accessoires graphiques) et l'augmentation de leur capacité (stockage et processeur). Les offres commerciales des logiciels SIG sont de plus en plus nombreuses et de plus en plus accessibles, par leur prix et leur convivialité (simple voir trop simple). Cette période est une période de démocratisation des SIG, mais pas vraiment de développement théorique et méthodologique, dont on a continué à utiliser les mêmes méthodes développées dans les années 80 (Worboys M. F, 1995).

I.1.4. Evolution actuelle

Actuellement, le cadre théorique est bien posé, les SIG évoluent à grands pas. Avec le système Open Source les solutions aux différents problèmes sont rapidement trouvées. Avec l'arrivée d'internet l'utilisation des SIG devient encore plus accessible, dont l'utilisation de la donnée localisée sur internet fait partie intégrante de notre quotidien, les offres, sur le net, d'applications de cartographie et de logiciels gratuits se banalisent également. L'évolution des SIG 3D (reconstruction 3D, animation) est étroitement liée à l'évolution du matériel (carte graphique) et de technique (présentation et d'animations) informatiques. Sans oublier l'intégration, dans les logiciels de SIG, des outils capables de réaliser des traitements géostatistiques.

I.2. Concepts de bases

I.2.1. Définitions

SIG : est la traduction de l'acronyme anglais GIS, qui signifie à la fois :

- Geographic Information Systems
- Geographic Information Science

La littérature est riche en définitions, dont on peut citer :

1. *Burrough P.A. (1986)* : un ensemble puissant d'outils pour saisir, conserver, extraire, transmettre et afficher les données spatiales décrivant le monde réel.
2. *Comité fédéral de coordination inter-agences pour la cartographie numérique (FIC-CDC, 1988 ; définition américaine)* : Un SIG est un "système informatique de matériels, de logiciels, et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion".
3. *Société française de photogrammétrie et télédétection (1989)* : Système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace
4. *L'économiste Michel Didier (1990)*, dans une étude réalisée à la demande du CNIG, définit les SIG comme étant un "ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision".

5. Centre National d'Information Géographique (CNIG) : « Système pour saisir, stocker, vérifier, intégrer, manipuler, analyser et visualiser des données qui sont référencées spatialement à la terre. Il comprend en principe une base de données localisée et les logiciels applicatifs appropriés. Une des premières fonctions d'un S.I.G est sa capacité à intégrer des données de sources différentes ».

Plusieurs définitions existent, certaines insistent plus sur aspect multimédia des SIG, d'autre sur la nature d'objets traités, mais elles incluent toutes l'ensemble de ces fonctions.

I.2.2. Les composantes du SIG

Pour pouvoir réaliser correctement un travail de SIG, Cinq composantes majeurs doivent se réunir à savoir : les logiciels, les données, le matériels informatiques, le savoir-faire ou les méthodes de travail et les utilisateurs. Ainsi, le SIG est un outil de travail très gourmand de concepts (technologie, programmation, géomatique, des connaissances dans plusieurs d'autres domaines)

I.2.2.1. Les logiciels

Un logiciel SIG est un logiciel conçu d'une manière à assurer leurs principales fonctions à savoir :

- Acquisition et manipulation de la donnée géographique ;
- Gestion d'importante base de données ;
- Interrogation de la base de données (visualisation ou affichage, requêtes, analyse) ;
- Décrire les objets du monde réel (modèles conceptuel et logique) ;
- Assure un bon niveau de convivialité aux utilisateurs (faciles à manipuler).

Il existe sur le marché un nombre important de logiciels, dont on peut les diviser en logiciels libres (QGIS, GRASS, gvSIG, Mapserver, ...), propriétaires à accès gratuits (SavGIS, Adonis, DIVA-GIS, ...) et propriétaires commerciaux (ArcGIS, MapInfo, GeoConcept, ...).

Quel est le meilleur logiciel SIG ? En réalité, la meilleure réponse c'est de ne pas répondre à cette question dans l'absolu. Il faut poser la question autrement : quel est le meilleur logiciel pour réaliser mon projet ? Chaque logiciel SIG a ses atouts et inconvénients, donc il faut choisir celui qui répond au mieux à vos besoins à moindres frais.

I.2.2.2. Les données

Les données sont sans doute le carburant du SIG. Une information localisée géographiquement est une donnée qui présente des objets localisés à la surface de la terre. A cette donnée géographique une donnée tabulaire est reliée ; l'ensemble des données est soit créé en interne, soit acquis de l'extérieur.

Sous SIG le monde réel est représenté avec deux types de données à savoir : la donnée en mode vecteur, la donnée en mode raster (cf. *infra*).

I.2.2.3. Le matériel informatique

Un SIG pour qu'il puisse être conçu puis manipulé, a besoin d'un ordinateur.

Tenant compte de la capacité actuelle des machines (processeur, stockage), la grande majorité des SIG sont fonctionnels sur nos ordinateurs de bureaux. Pour les grands projets où la donnée à manipuler et à produire est importante, et où les utilisateurs sont multiples, on aura besoin de machines plus puissantes et de foule de terminaux.

Accessoirement, autres matériels sont utilisés, tels que :

- le scanner : utilisé pour passer de la donnée en format papier au format numérique (donnée raster) ;
- le GPS : renseigner les coordonnées des éléments cartographiés, les satellites...etc.

Pour diffuser l'information produite sous SIG, on a besoin de support externe de stockage (CD, clé USB, disque dur externe). L'information est de plus en plus diffusée via un système intranet, extranet ou encore internet. Dans le cas où l'information est communiquée sous format papier une imprimante est nécessaire.

I.2.2.4. Le savoir-faire

La conception correcte d'un SIG, nécessite l'intervention d'une équipe interdisciplinaire, où les savoir-faire vont être unis :

- Techniques : maîtrise des langages de développement et modélisation informatique, traitements graphiques, traduction informatique des requêtes ;
- Théorique : géodésie, sémiologie graphique et cartographique, et selon les domaines d'autres connaissances fondamentales sont à maîtriser.

I.2.2.5. Les utilisateurs

Les utilisateurs des SIG sont un grand public d'univers parfois très éloignés, allant du chercheur, à n'importe quelle personne qui a juste besoin, dans son quotidien, d'une information géographique. En réalité, et avec l'arrivée des SIG sur internet, on devient tous (ou presque) des utilisateurs de SIG, chacun selon ses besoins et sa profession. Néanmoins, on peut regrouper les domaines d'utilisation en trois principales catégories, à savoir :

- L'aménagement ;
- La gestion ;
- La recherche.

A. A. Aménagement territorial

L'aménagement du territoire constitue un domaine très important de l'utilisation de l'outil SIG. On peut considérer que ce dernier a révolutionné le domaine d'aménagement territorial. Il est désormais facile d'avoir une vision globaliste des différents objets constitutifs du territoire à aménager, ce qui a allégé énormément la tâche des aménageurs en rendant facile :

- de contrôler le foncier à différentes échelles (communale, départementale) ;
- la simulation de plusieurs plans d'aménagement futurs avant la concrétisation sur le terrain ;
 - Grâce au plan d'occupation du sol établi sous SIG, l'aménagement du territoire est plus équilibré (espace vert – bâtis – voirie - réseaux communautaires : eau, assainissement, éclairage public), et plus sécuritaire (identification de zones à risques : sismique, incendie, hydrologique, glissement de terrain ; Fig. 1)

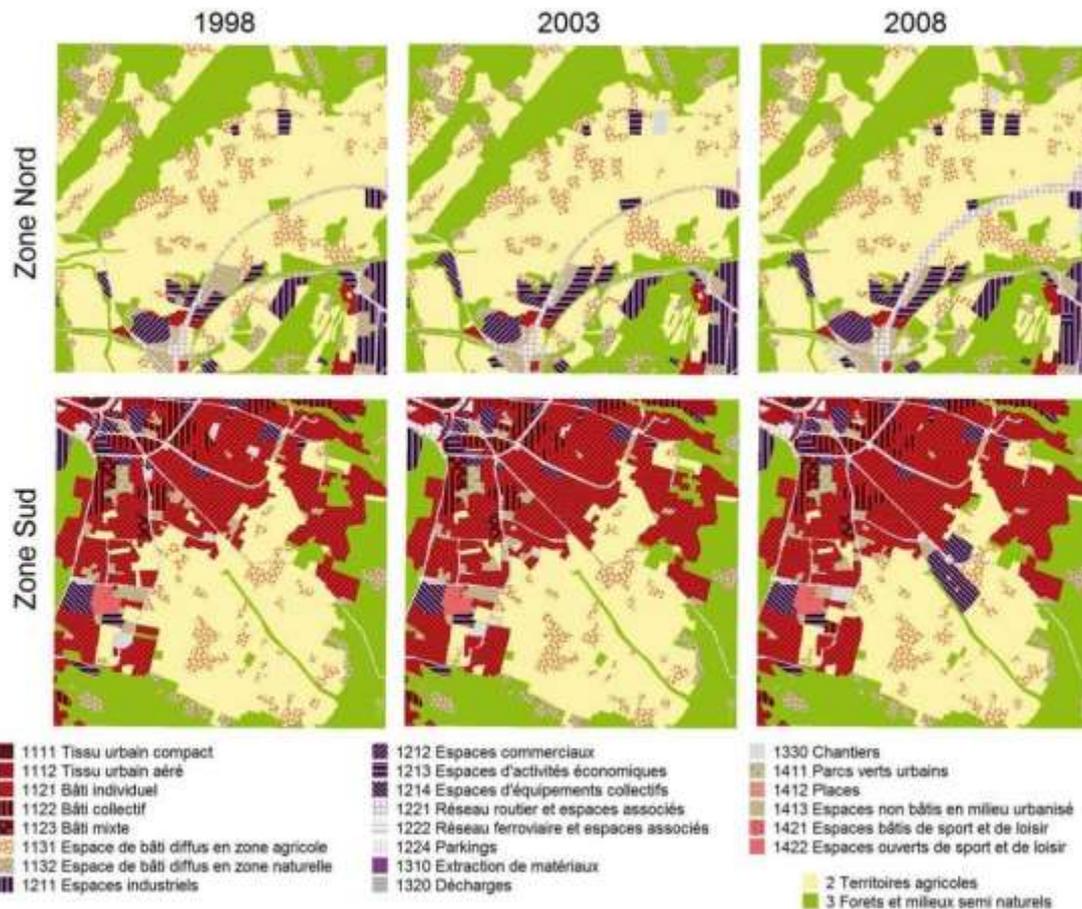


Fig. 1. Diachronie de l'occupation du sol (Robert et Autran, 2012).

B. Gestion

Par leur capacité de stockage importante de la donnée en particulier de la donnée thématique, par leur capacité d'interconnecter plusieurs couches d'informations (superposition de nombreuses couches de données), par leur pouvoir de relier les informations attributaires aux objets graphique et par la facilité de la mise à jour de leur base de donnée, Le SIG est un outil de gestion par excellence (Fig. 2).

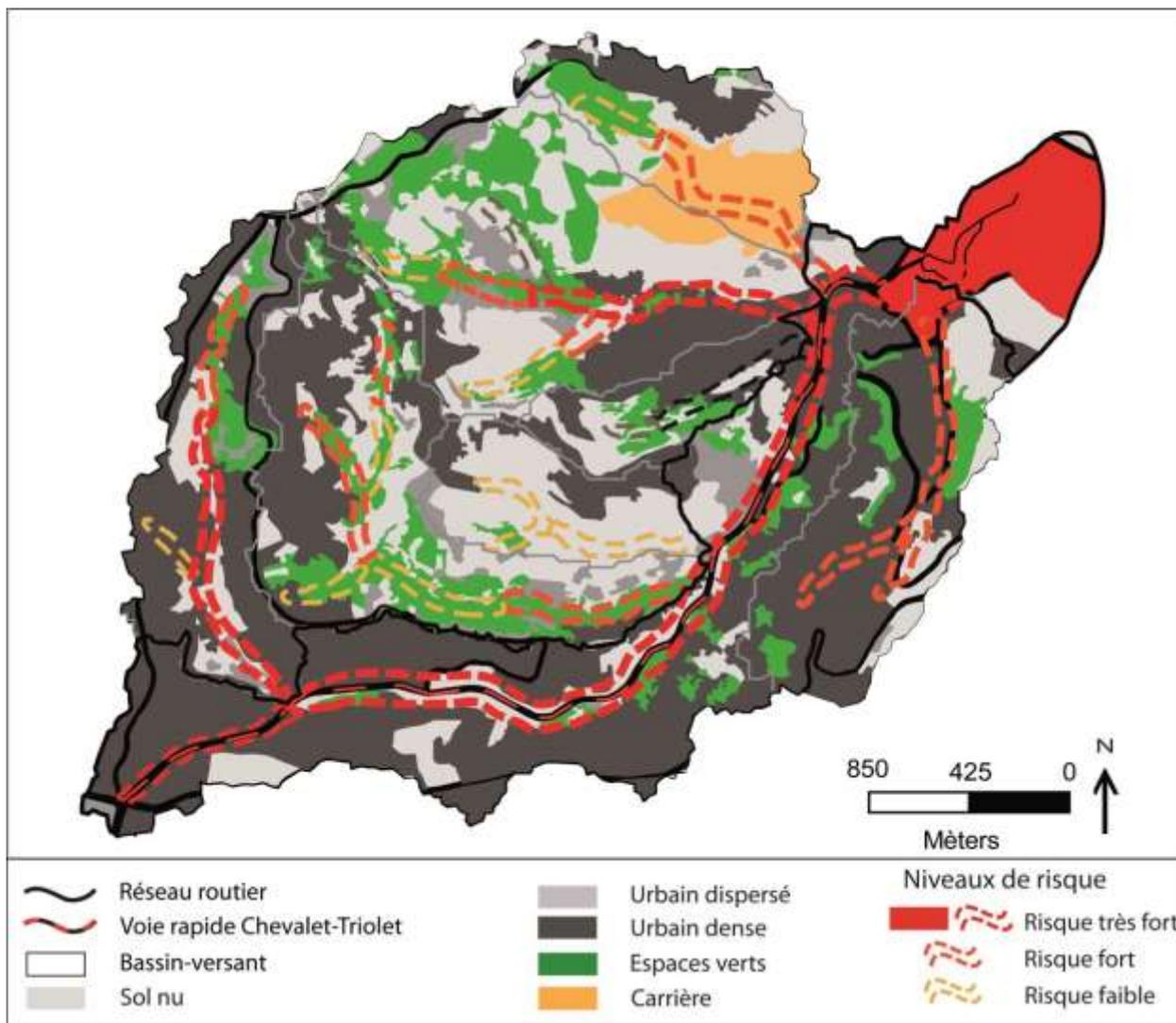


Fig. 2. Carte du risque hydrométéorologique dans le bassin versant de l'Oued Koriche (Menad, 2012).

C. La recherche

Souvent la recherche scientifique consiste à traiter (voir résoudre) une problématique complexe à facteur multiple, ou autrement dit étudier un système, le SIG justement permet d'établir un lien tangible entre les différents paramètres d'un système (Cuq, 2000).

Pour toutes les caractéristiques qu'on a cité jusqu'ici (cf. *supra*), les SIG ont été adoptés par un grand nombre de disciplines, ils sont enseignés en sciences de la vie et de la nature (dynamique spatiotemporelle des populations, préservation des ressources), dans la santé (dynamique épidémiologie), en sciences de la terre et de l'univers (risques majeurs : géologique, géomorphologique, hydrologique...), en économie et dans les sciences humaines et sociales. On les trouve dans les travaux de fin d'étude, les thèses de doctorat et dans les articles scientifiques. Ils deviennent incontestablement des outils de recherches scientifique et technique importants.

I.3. Questions auxquelles peuvent répondre les Systèmes Informatiques Géo- graphique

- **Où ?** Il permet de localiser spatialement l'objet où le phénomène en question, il s'agit d'un même type d'objet. Exemple : localiser le réseau routier ;
- **Quoi ?** via des requêtes on peut trouver les objets recherchés (d'un ou de plusieurs types) sur un territoire donné. Exemple : trouver tous les ouvrages hydrauliques qui se trouvent dans le bassin versants étudié.
- **Comment ?** la superposition d'un ensemble de couches d'informations d'un même territoire, permet de faire ressortir les relations qui existent entre les différents objets constitutifs de ce dernier. Exemple : afficher le réseau hydrographique théorique et le réseau d'évacuation mixte (eau pluviale, eau usée) dans le bassin-versant de l'Oued Koriche afin d'identifier les parties anthropisées du réseau hydrographique (Fig. 3).

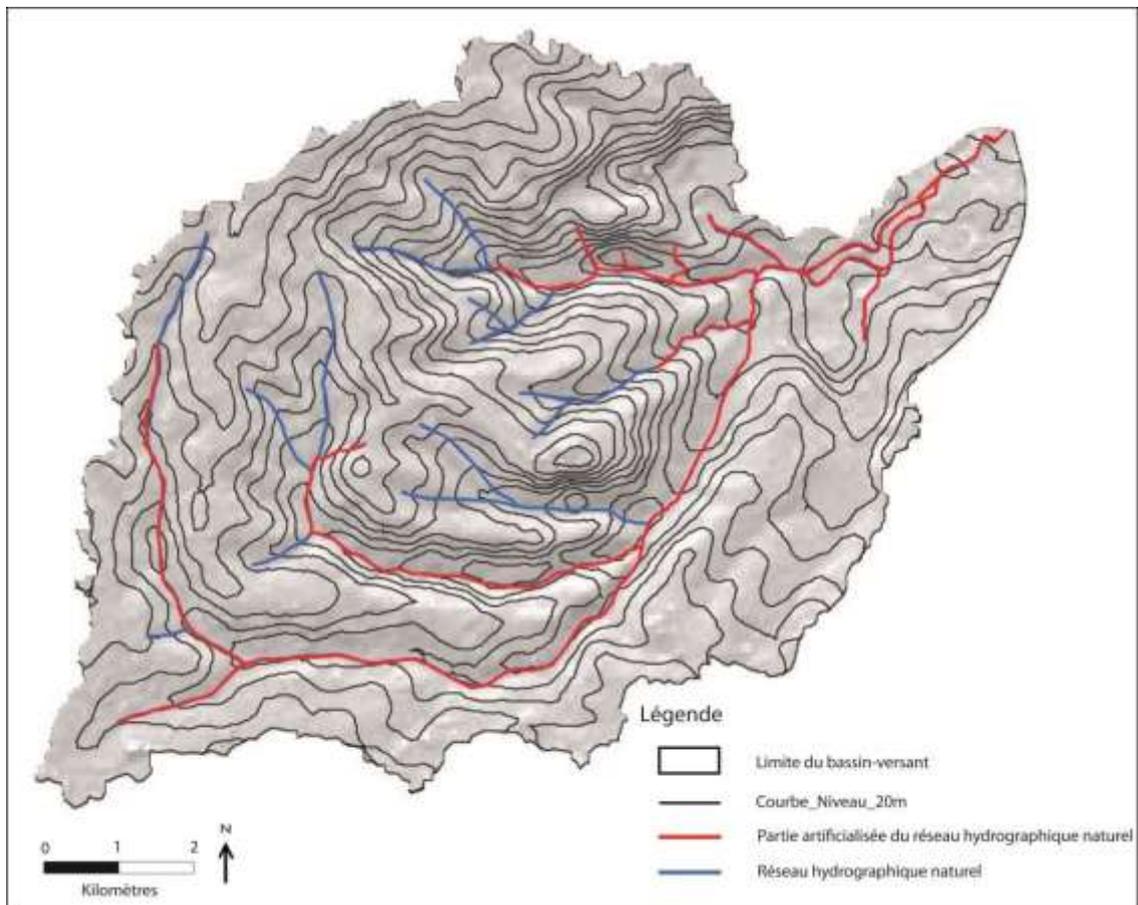


Fig. 3. Anthropisation du réseau hydrographique (Menad, 2012)..

- **Quand ?** l'analyse temporelle est également possible sous SIG à travers les reproductions diachroniques des phénomènes étudiés, sous forme de carte (présentation graphique; Fig.1), où *via* les informations remplies dans la table attributaire (date de conception du tronçon d'un réseau d'assainissement par exemple)

- **Et si ?** Tester des scénarios d'évolution pour pouvoir évaluer leur impact sur les autres agents du territoire. Il s'agit d'un outil de prise de décision. Exemple : la planification des extensions du tissu urbain : on analysant la carte du risque hydrologique dans le bassin- versant de l'Oued Koriche, qui fait également guise de carte d'occupation du sol, on peut facilement identifier les zones où les constructions sont interdites (zones à risque fort) les zones où les constructions sont soumises à des mesures de préventions particulières, et finalement les zones où les constructions sont inconditionnées.

I.3.1. Les limites

Les SIG se sont perfectionnés sur les deux plans théorique et technique (cf. supra). Néanmoins, certains points nécessitent encore une amélioration, en particulier, les multi-représentations spatiales, dont on maîtrise mal la gestion simultanée des objets géographiques avec différents points de vue ou différents niveaux de résolutions. Il manque également la composante du temps, encore difficile à gérer.

I.3.2. Exemple d'application dans le domaine de l'hydraulique

La conception du réseau d'eau potable AEP sous SIG permet à la fois d'attribuer à chaque tronçon (objet géo-localisé) ses caractéristiques (table attributaire), telles : capacité d'évacuation, matériel de construction, pente, fonctionnalité Le montage d'une telle base de donnée facilite la tâche des gestionnaires en lui permettant, à travers un seul clic, de sélectionner, consulter, d'analyser et /ou modifier l'objet à traiter.

- La cartographie permet de localiser plus facilement les différents agents du réseau (équipements, clients), et leur mise en connexion ;
- Localiser plus facilement les dysfonctionnements et donc faciliter le travail des équipes d'intervention ;
 - L'intégration des modifications (suppression ou ajout de tronçon), devient extrêmement facile, contrairement au plan papier, où le gestionnaire était obligé de reprendre tout le document.

I.4. Données du système d'information géographique

Sous SIG le monde réel est représenté par deux types de données :

- Donnée raster
- Donnée vecteur

I.4.1. Donnée en mode Raster

La donnée raster reproduit le territoire via une grille régulière en ligne et en colonne, chaque pixel (valeur ligne/colonne) est définie à travers : sa résolution, sa position ligne-colonne, et son intensité du gris (ou couleur). La juxtaposition des pixels ou des mailles recrée l'apparence du territoire étudié (Fig. 4).

Ligne
Maille ou Pixel

- Résolution spatiale
- Position ligne/colonne
- Intensité du gris

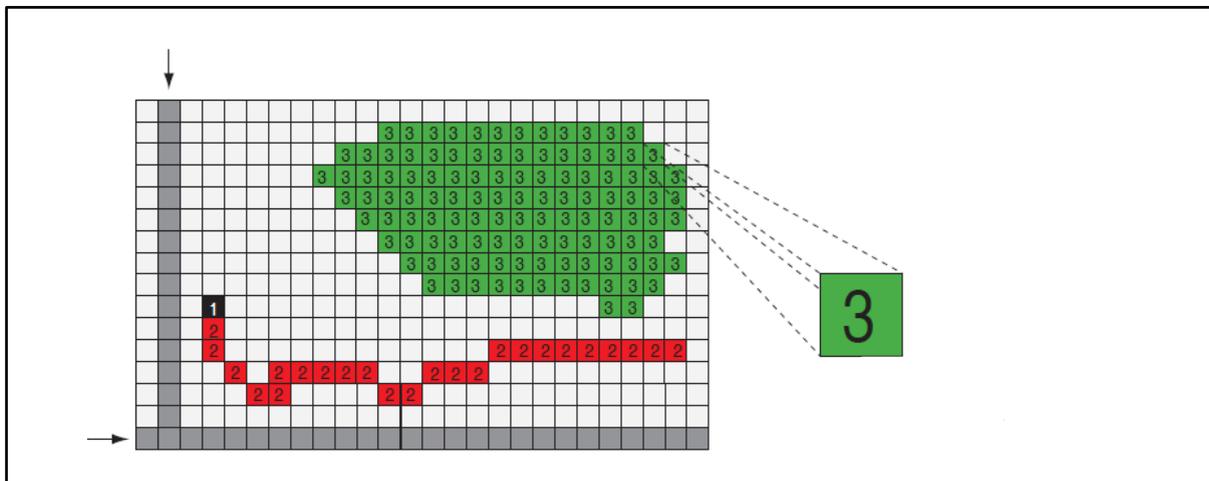


Fig. 4. Représentations de la donnée en mode raster (Tebourbi, 2013).

Parmi les données raster les plus utilisées en SIG on peut citer : les photos aériennes, image satellite, image radar et les documents scannés (plan cadastraux, carte, ... ; Fig. 5).

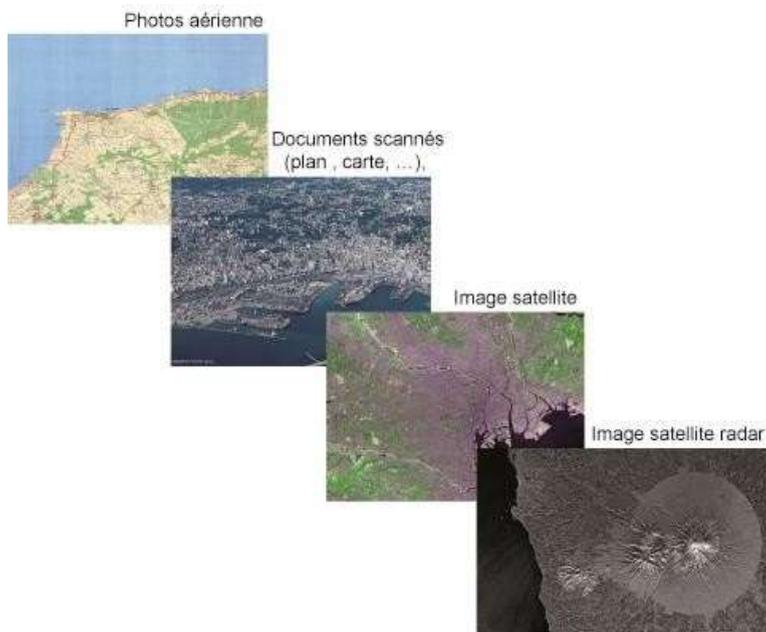


Fig. 5. Types de données raster les plus utilisées en SIG.

I.4.2. Donnée en mode Vecteur

Les éléments constitutifs du monde réel sont reproduits à travers des points, des lignes (arcs) et des polygones (Fig.6). La création de la donnée graphique (objet spatial) va créer automatiquement une ligne dans une table attributaire et donc crée de la donnée alphanumérique, les deux données (alphanumérique et graphique) sont interactives.

- *Les points* : sont utilisés pour représenter des phénomènes ou des objets ponctuels ou

d'extension spatiale très réduite.

- *Les lignes* : sont utilisées pour représenter les objets linéaires tels le réseau routier, réseau d'assainissement, réseau hydrographique ..., des objets qui ont donc une longueur mais à surface très réduite voire inexistante tel est le cas des courbes de niveau.
- *Les polygones* : sont utilisés pour représenter des objets à surface. Un polygone représente- ra forcément un ou plusieurs objets homogènes tels : les niveaux de risques, modes d'occupation du sol

A noter ici que les normes de la production de la donnée graphique ci-dessus, sont flexible et font appel au bon sens du créateur de l'information (Ce n'est pas des sciences exactes !!!).

Exemple : si on reproduit le plan d'occupation du sol à l'échelle du département, on va représenter les bâtiments et les rondpoints et peut être le réseau routier avec des polygones, le réseau d'assainissement avec des lignes et les arbres avec des points. Si on change l'échelle du département à celui de l'université, les rondpoints vont être représentés plutôt par des points, le réseau routier par des lignes et certains objets ponctuels vont disparaître à cette échelle du travail. Ce qu'il faut retenir ici, c'est que l'utilisateur doit choisir, à la fois, le type de la donnée graphique (point, ligne, polygone) ainsi que la sélection des objets à représentés c'est ce qu'on appelle l'étape modélisation (cf, *infra*).

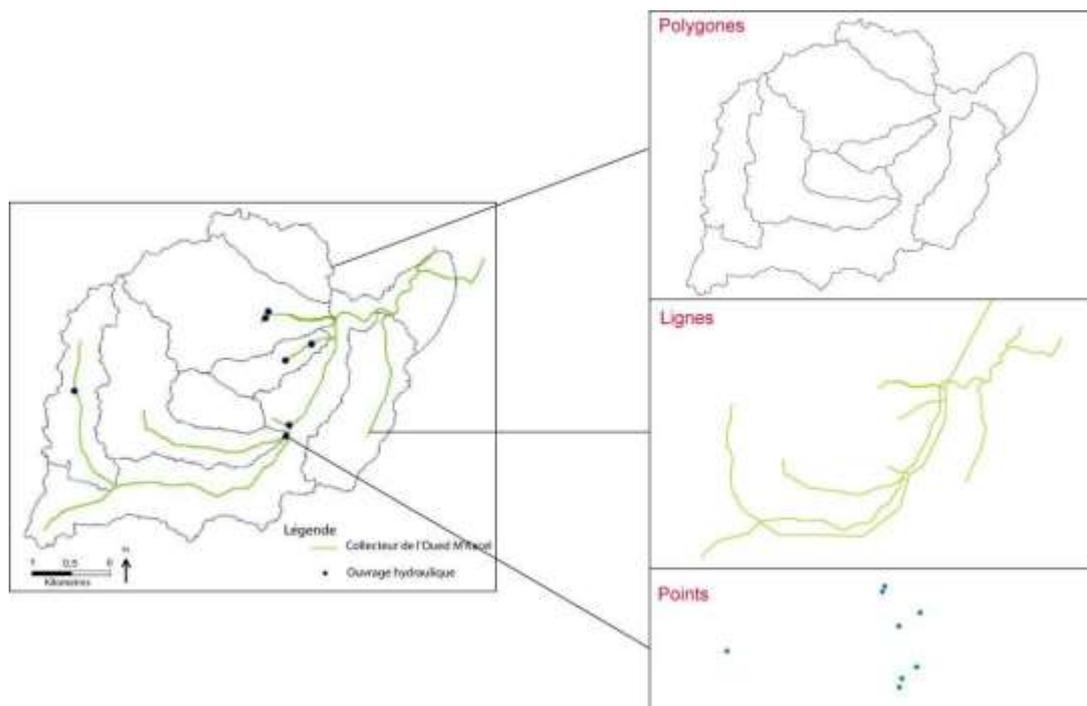


Fig. 6. Représentations de la donnée en mode vecteur.

Le choix de mode de représentation du monde réel est déterminé par le but et la nature du travail elle-même. De toutes manières, chaque mode de représentation, vecteur ou raster, a ses avantages et ses inconvénients (Tableau 1).

Tableau 1. Avantages et inconvénient de la donnée vecteur et la donnée raster.

	Avantages	Inconvénients
Raster	<ul style="list-style-type: none"> • bonne représentation des réalités continues • structure de données simple • analyse spatiale aisée • combinaison de thèmes aisée (unités spatiales directement comparables) • calculs rapides 	<ul style="list-style-type: none"> • prend beaucoup de place • faible qualité d’affichage et d’impression • position et forme des objets peu précises (selon résolution)
Vecteur	<ul style="list-style-type: none"> • prend peu de place • excellente qualité d’affichage et d’impression • représentation précise de la position et de la forme des objets • bonne intégration et mise à jour facile • approche par objet 	<ul style="list-style-type: none"> • peu adapté à la représentation des réalités continues • structure de données complexe • croisement de thèmes complexe (nécessité de créer de nouvelles unités spatiales) • calculs lents

(El Janyani S, 2015)

I.4.3. Les Métadonnées

Méta provient du grec *meta* « après » ou « ce qui dépasse »

Souvent définies comme étant des données qui définissent ou décrivent les données. Il s’agit d’un contenu souvent structuré, créé d’une manière automatique ou manuelle, exprimé avec des mots, des formules, des signaux,... tout dépend de la donnée décrite (Fig. 7).

Elles existent sous deux types de supports :

- *Support papier* : cette forme est en voie de disparition, et dans tous les cas de figures la version papier est actuellement accompagnée d’une version numérique ;
- *Support numérique* : ce format présente l’avantage d’être facilement modifiable, la mise à jour de la base de données n’implique donc pas la production de nouvelles métadonnées. Le support numérique rend également la diffusion facile, rapide et à faible coût. Néanmoins, la version numérique possède les mêmes inconvénients que dans l’ensemble du monde informatique, à savoir la compatibilité entre les logiciels, les versions d’un même logiciel, et la grande diversité des formats. En géoscience, et malgré les nombreux efforts pour standardiser des formats le problème de compatibilité persiste.

Isoligne de la vitesse du courant en vives eaux

Calcul des isolignes de la vitesse du courant en m/s pour un coefficient de 95. L'intervalle entre les isolignes est de 0.1 m/s.

PAGES WEB

- Accès à la page internet dédiée aux EMR (site Géolittoral)
- Accès à la page internet de téléchargement (site Géolittoral)

Description de la donnée

Date(s) de référence : 10/07/2014(Date de création)
10/07/2014(Date de publication)

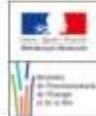
Thème(s) INSPIRE : Caractéristiques géographiques océanographiques

Autre(s) thème(s) : Océans

Mot(s)-clé(s) : hydraulien,isolignes de vitesse,courant, Caractéristiques géographiques océanographiques

Langue(s) : Français

Fournisseur de la fiche :



Responsable de la donnée :
MEEM / DDEC

Fig. 7. Partie d'une fiche de métadonnées (MEEM, 2016).

En SIG les métadonnées vont renseigner principalement sur :

- les informations relatives à sa création (lieu, date et l'auteur) ;
- le mode de diffusion et les formats disponibles ;
- Les informations d'authentification : intitulé, brève description du contenu et les objectifs du travail, langue, version, couverture, public visé,
- le système de projection et de coordonnées, échelle cartographique ;
- la qualité : résolution, précision, normes de fiabilité ;
 - les contraintes juridiques : droit d'auteur et restriction de diffusion, accès conditionné, accès libre.

Tenant compte de leur contenu, les métadonnées vont donner une valeur ajoutée aux données, dont ils vont faciliter :

- la recherche de la donnée (catalogage) ;
- le partage et l'échange de données (interopérabilité) ;
- Facilite la gestion et l'archivage ;
- Protège les droits et authentifie le travail.

Chapitre II. Logiciel ArcGIS

Comme on a pu voir dans la chapitre I, les logiciels SIG sont conçus d'une manière à assurer leurs principales fonctions (acquisition, manipulation, création et la gestion de la données géographique, cartographie, ... ; cf. *supra*)

Le nombre de logiciels SIG existant sur le marché est important ; on les a divisé auparavant en logiciels libres, propriétaires à accès gratuits et propriétaires commerciaux (ArcGIS, MapInfo, GeoConcept, ...).

Dans le cadre de notre module on a fait le choix de travailler avec le logiciel ArcGIS¹, un logiciel du leader mondial des SIG *ESRI*. Un choix justifié par le fait que ce dernier est l'un des logiciels SIG les plus complet et le plus utilisé à l'échelle international.

II.1. Architecture générale de l'ArcGIS

Le logiciel ArcGIS peut être réparti en trois grands compartiments (Fig. 8), à savoir :

1. **ArcCatalog** assure l'organisation et la gestion des données SIG ;
2. **ArcMap** c'est l'application centrale d'ArcGIS, dont elle assure à la fois la visualisation et le traitement (analyse, édition,...) des données dans la fenêtre « data view ». La mise en page des cartes est réalisée dans la fenêtre « layout view ». A noter qu'il existe l'ArcGlobe, qui est comparable à ArcMap mais permet une visualisation 3D de la donnée ;
3. **ArcToolbox « boîte à outils »**, c'est là où ils sont regroupés l'ensemble des outils de géotraitements. Il est disponible à trois niveaux progressifs de perfectionnement à savoir : ArcView, ArcEditor, ArcInfo (le niveau le plus complet et le plus sophistiqué).

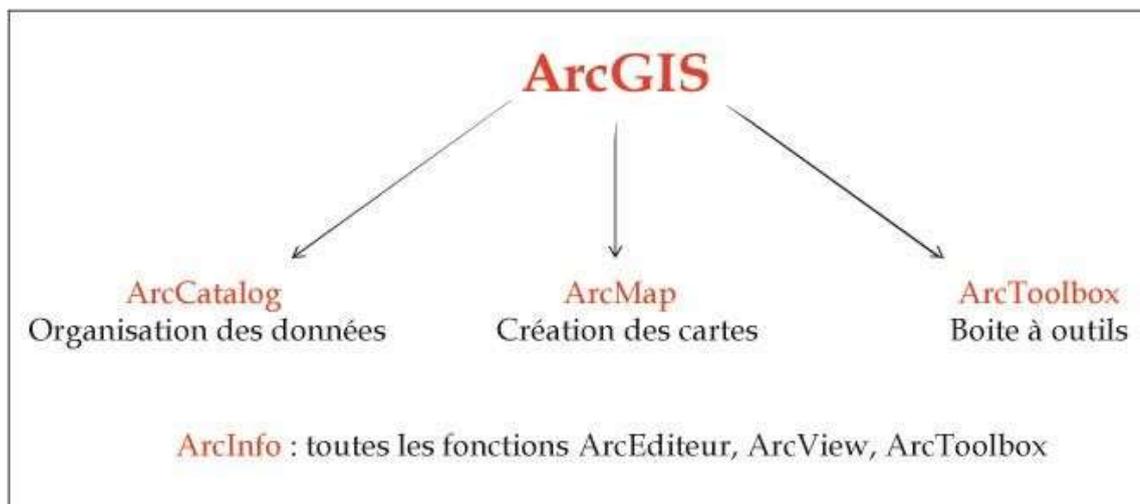


Fig. 8. Architecture générale de l'ArcGIS.

¹ Autant qu'une ancienne doctorante du laboratoire PRODIG (université Diderot Paris 7), et une enseignante invitée à plusieurs reprises au laboratoire, je dispose d'une licence du logiciel ArcGIS. Pour les étudiants, ils travaillent sur leur PC personnelle avec des versions d'évaluation proposées par ESRI.

II.2. Principes de fonctionnement de l’ArcGIS (tout SIG)

a. Acquisition des données

- *Acquisition de la donnée non numérique* : scan des cartes, géoréférencement, digitalisation et la création des tables attributaires.
- *Acquisition de la donnée numérique* : importation de fichiers, Coordonnée GPS,

b. Analyse des données

Cette fonction est l’une des premières missions du SIG

- Requêtes : sélection toutes les zones où il y a des écoles.
- Analyses spatiales ou géotraitements : création de zones tampon, calculs des surfaces,

c. Représentation des données

- Visualisation des données : une interaction avec la carte est possible (zoom, déplacement, ... ; Fig. 9)

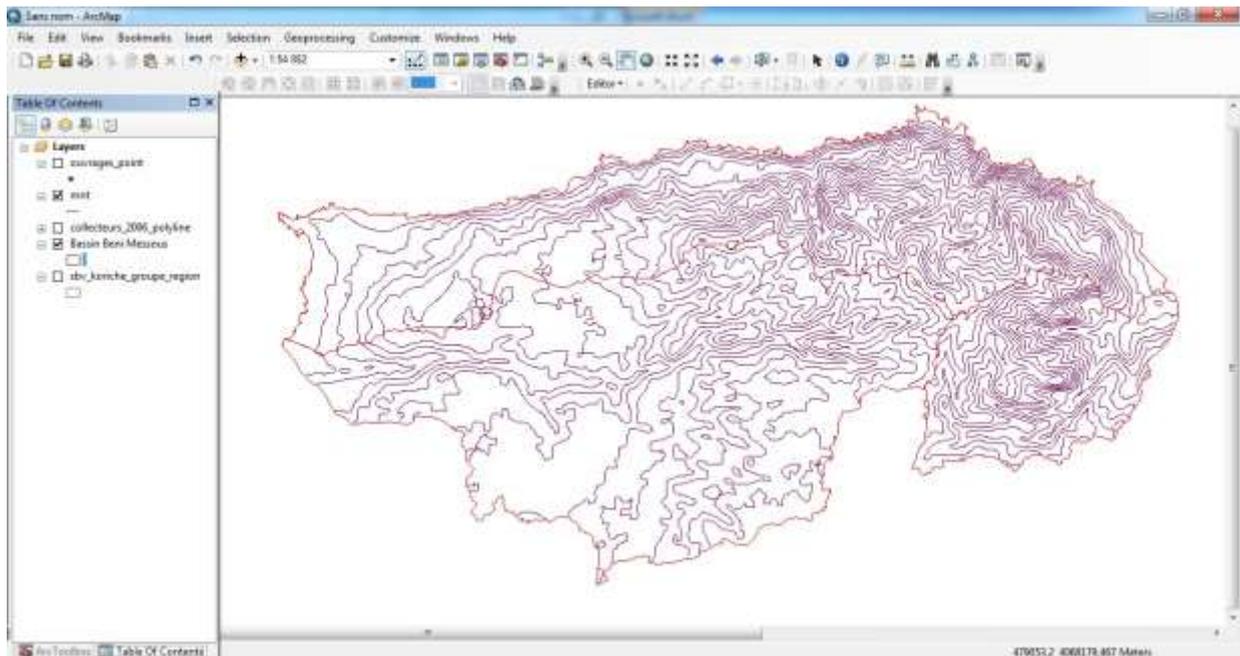


Fig. 9. Visualisation des données via l’interface ArcMap.

- Calculs dans les tables attributaires : calculs des densités de la population à partir des colonnes nombres de population par wilaya et surface de wilaya (cf. *Infra*).

d. Cartographie thématique

Elle traduit les relations spatiales d’un ou plusieurs thèmes, de phénomènes (Fig. 10).

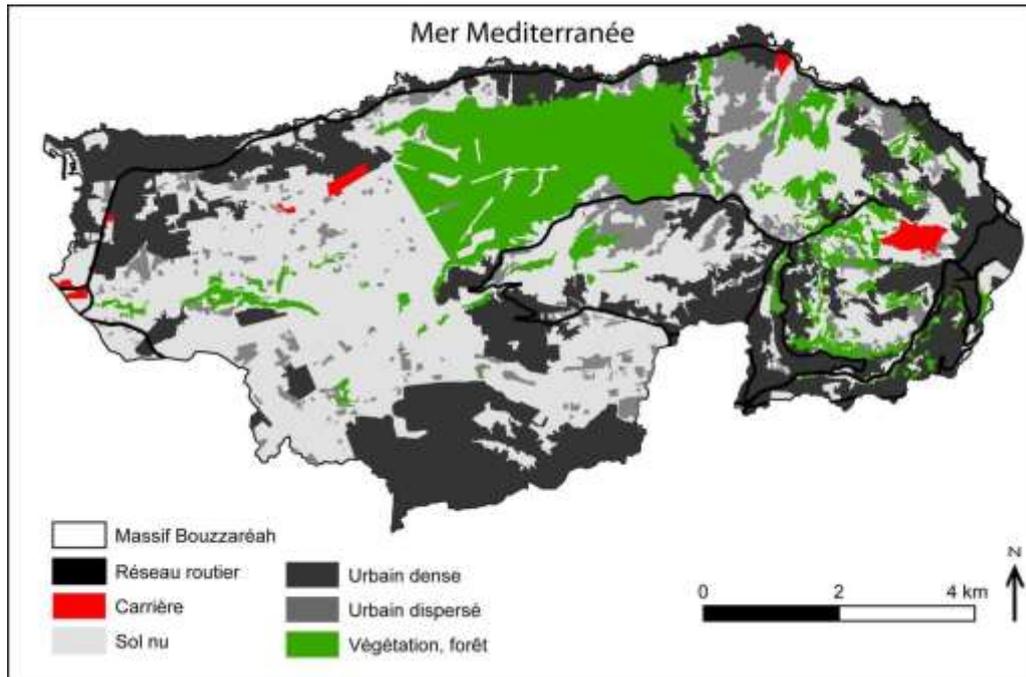


Fig. 10. Carte thématique : Carte d'occupation du sol dans le Massif de Bouzaréah en 2011 (Menad, 2012).

II.3. Familiarisation du logiciel ArcGIS

Pour ajouter, visualiser ou analyser la donnée on lance souvent ArcMap. En lançant ce dernier, on crée automatiquement un document ArcMap, qui sera le lien vers les données qu'on y rajoute.

Le document ArcMap (.mxd) présente la face émergée du SIG. Les fichiers de document ArcMap contiennent la présentation des fichiers de forme, des détails sur les données IGS utilisées, les informations d'affichage (échelle, symbologies des données et étiquetage, ...) et d'autres éléments utilisés dans ArcMap. En réalité, dans le document ArcMap (.mxd) on ne stocke pas physiquement les données mais plutôt des chemins, d'où l'intérêt de ne pas déplacer les fichiers entre deux séances de travail. Dans le cas contraire, le chemin sera perdu lors de l'ouverture du document ArcMap (.mxd), et la donnée déplacée ou supprimée sera notée par un point d'exclamation dans la table des matières ArcMap (section légende).

Chaque document (.mxd) a besoin de plusieurs fichiers, dont les principaux sont (Fig. 11):

- Fichiers de formes (min 3 fichiers ; *.shx, shp, .dbf*) : source des données brutes des couches en particulier géométrie et attributs.
- D'autres fichiers sont créés au fur et à mesure d'ajouter des informations.

 BV.dbf	13/10/2011 18:50	Fichier DBF	1 Ko
 BV.prj	13/10/2011 18:50	Fichier PRJ	1 Ko
 BV.sbn	13/10/2011 18:50	Fichier SBN	1 Ko
 BV.sbx	13/10/2011 18:50	Fichier SBX	1 Ko
 BV.shp	13/10/2011 18:50	Fichier SHP	8 Ko
 BV.shp	13/10/2011 18:50	Document XML	9 Ko

Fig. 11. Fichiers composants une couche vecteur.



Première partie : nom du fichier ici BV

Deuxième partie après le point **.dbf** désigne l'extension du fichier, dont les indispensables ou Fichiers de formes sont :

- *.shp (shape)* : contient la géométrie des entités (coordonnées X et Y) ;
 - *.dbf (database file ou fichier de base de données)* : contient les données attributaires des entités (caractéristique) ;
 - *.shx (shape index ou index des formes)* : ordre de lecture des données, assure le lien entre les données géométriques et données attributaires.

Il existe d'autres fichiers complémentaires :

- *.prj* : projection
 - *.sbn et .sbx* : index spatial, n'existe qu'après avoir fait une requête ou une jointure spatial

II.3.1. Découverte et Familiarisation avec l'ArcMap



Cette partie permettra d'apprendre les modalités du lancement, d'affichage, d'exploitation des données sous ArcMap (Vidéo1. Familiarisation_ArcMap.mp4).

II.3.1.1. Mise en route ou le lancement du ArcMap

Selon les emplacements définis par l'utilisateur, l'ArcMap peut être démarré à partir de :

- Raccourci ArcMap sur le bureau 
- de l'épingler au niveau de la barre des tâches 
- Menu démarrer → Tous les programmes → ArcGIS → ArcMap.



II.3.1.2. Création d'un document ArcMap

File (Fichier)/New (Nouveau), on va sur l'onglet My Templates/ Blak Document puis OK. S'il y a un document déjà ouvert sur ArcMap, on aura éventuellement une demande d'enregistrer les modifications sur le document ouvert.

2. *Nommer (ou renommer)* : Clic droit sur layers/ Properties (Propriétés)/ General/Name (Nom ; Principal)/ OK.

II.3.1.3. L'interface ArcMap

Cette interface s'organise en deux possibles fenêtres d'affichage (Fig. 12) :

B. Mode de Visualisation des données Data View

1. Une barre de menu comprenant un ensemble de fonctionnalités ;
2. Des barres d'outils, permettant diverses opérations, en activant (ou désactivèrent) les outils selon le besoin. Les outils sont activés ou désactivés avec un clic droit sur la barre d'outil ;
3. Une fenêtre principale est une fenêtre de visualisation spatiale des données ouvertes et sélectionnées dans la Table des matières,
4. Table des matières » « Table of Contents » reprenant la liste des fichiers ouverts dans le projet ArcMap.

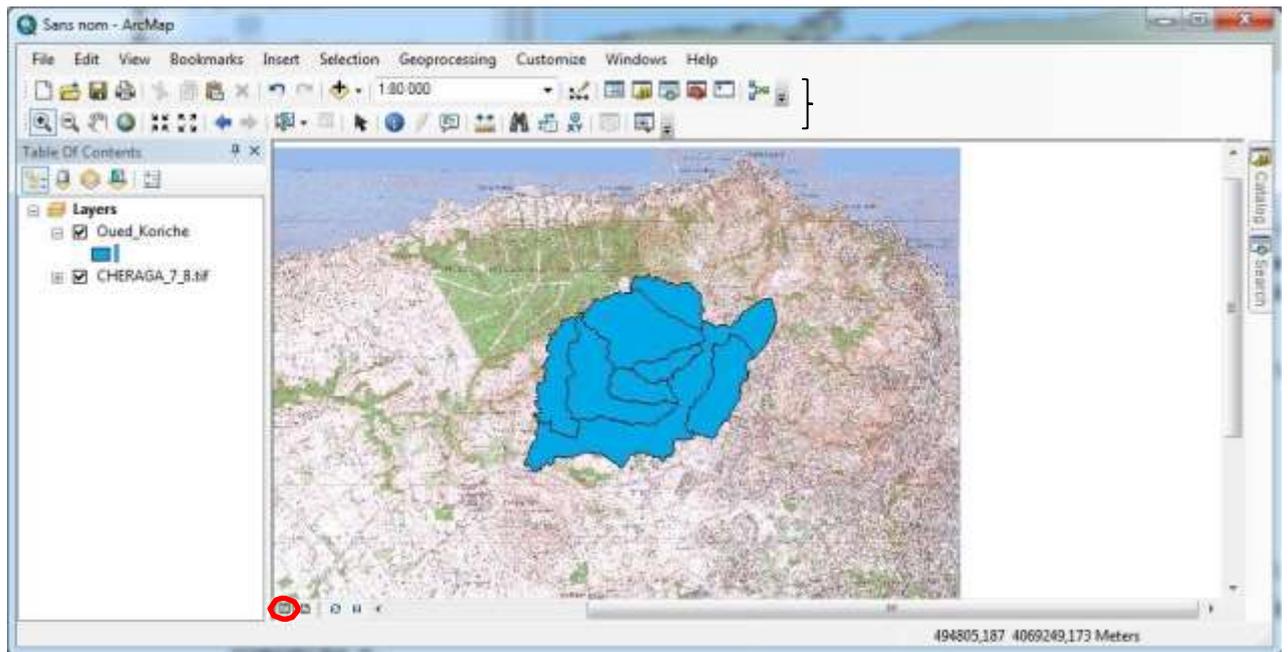


Fig. 12. Interface ArcMap en mode Data View: 1. Barre de menus, 2. Barre d'outils, 3. Fenêtre principale, 4. Table des matières.

C. Mode de Mise en page ou Layout View

Ce mode permet d'éditer les documents cartographiques, en ajoutant aux documents, ouverts ou créés en mode *Data View*, les éléments constitutifs d'une carte (titre, orientation, échelle, légende ; voir partie VI.1. ; Fig. 13).

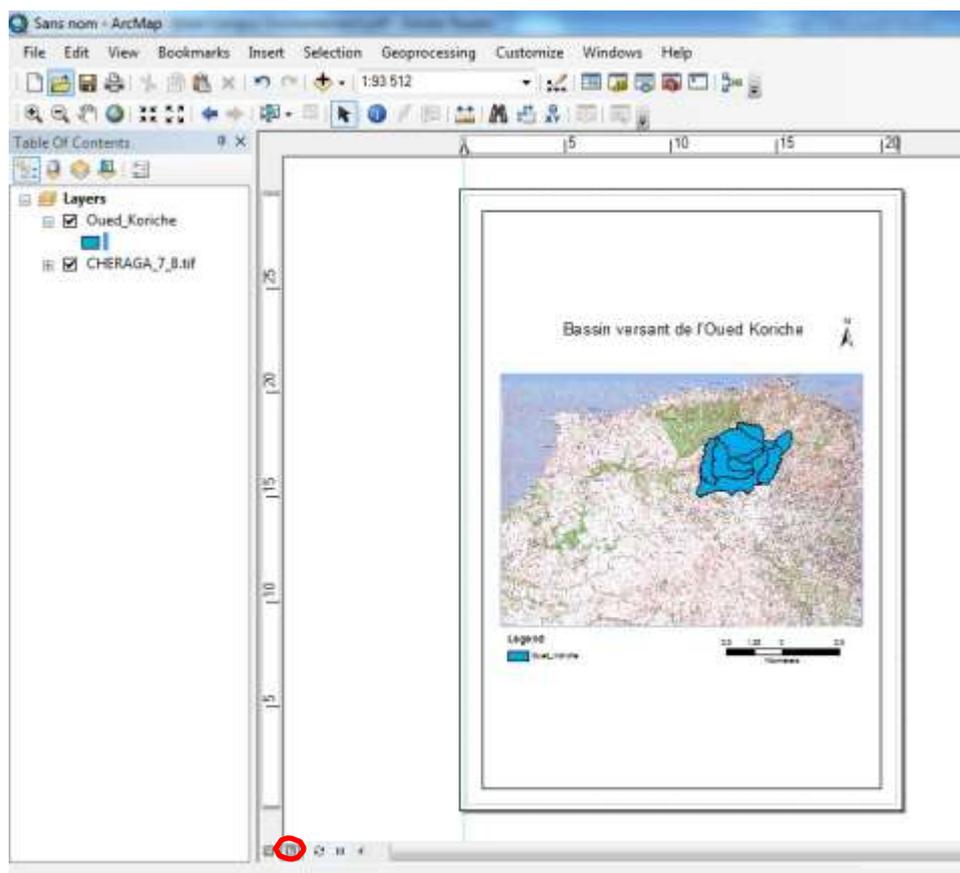


Fig. 13. Interface ArcMap en mode Mise en page ou Layout View

II.3.1.4. Ajouter, visualiser et créer de blocs de données

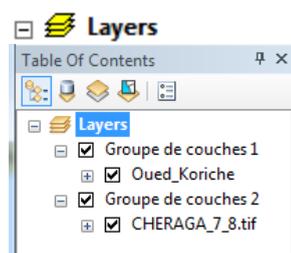
Comme on l'a précisé un peu plus haut, en lançant le ArcMap, On créa automatiquement un document ArcMap, qui sera le lien vers les données qu'on y rajoute. Pour y ajouter des données on a deux possibilités :



: ouvrir des documents ArcMap (.mxd)



: ajouter des données



Ce symbole présente le bloc de données (datatram) dans la table des matières

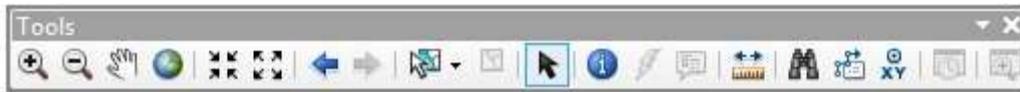
Le bloc de donnée peut regrouper plusieurs couches (*Group Layer*) d'une même carte. Sur une même page on peut trouver plusieurs groupes de couches.

La visualisation des données permet une interaction avec la carte (navigation, zoom, déplacement, ...).

Si l'outil dit Outil (*Tools*) n'est pas affichée, on doit alors l'activer : clic droit sur la Barre

d'outils (Toolbars)/ activer l'Outils (Tools).

21



Zoom avant et arrière



Zoom avant et arrière constant



Déplacement sur la carte



Affichage de l'emprise totale de la carte



Revenir (ou passer) à l'instant précède- dent



Sélectionner le (les) entités. Une fois sélectionnées les entités apparaissent en surbrillance bleue.



Sélectionner, redimensionner, et déplacer un test, des éléments graphiques et autres éléments dans la carte

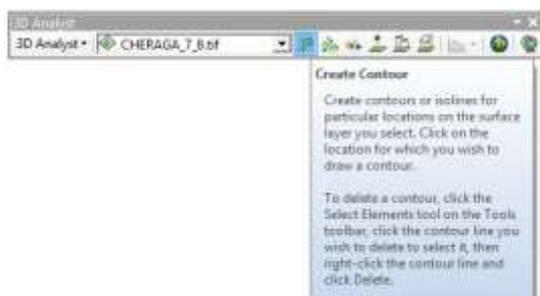


Mesure de la longueur d'un ou de plusieurs segments sur la carte.

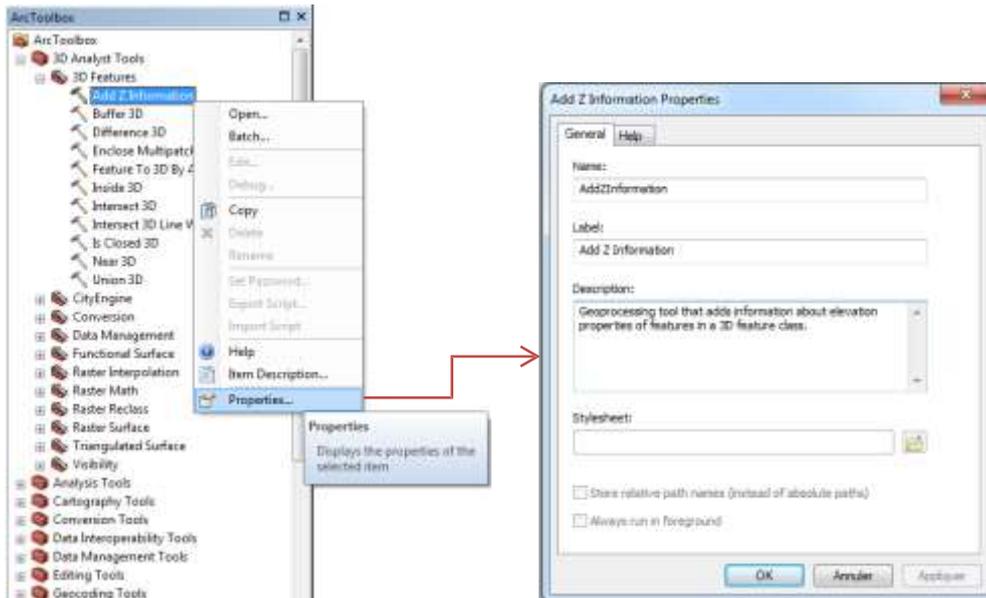


Trouver des éléments grâce à leurs coordonnées X et Y

Ci-dessus, on a évoqué quelques fonctionnalités de l'outil Outils (*Tools*). ArcToolbox renferme des centaines d'outils, pour connaître leur fonction il y a deux moyens :



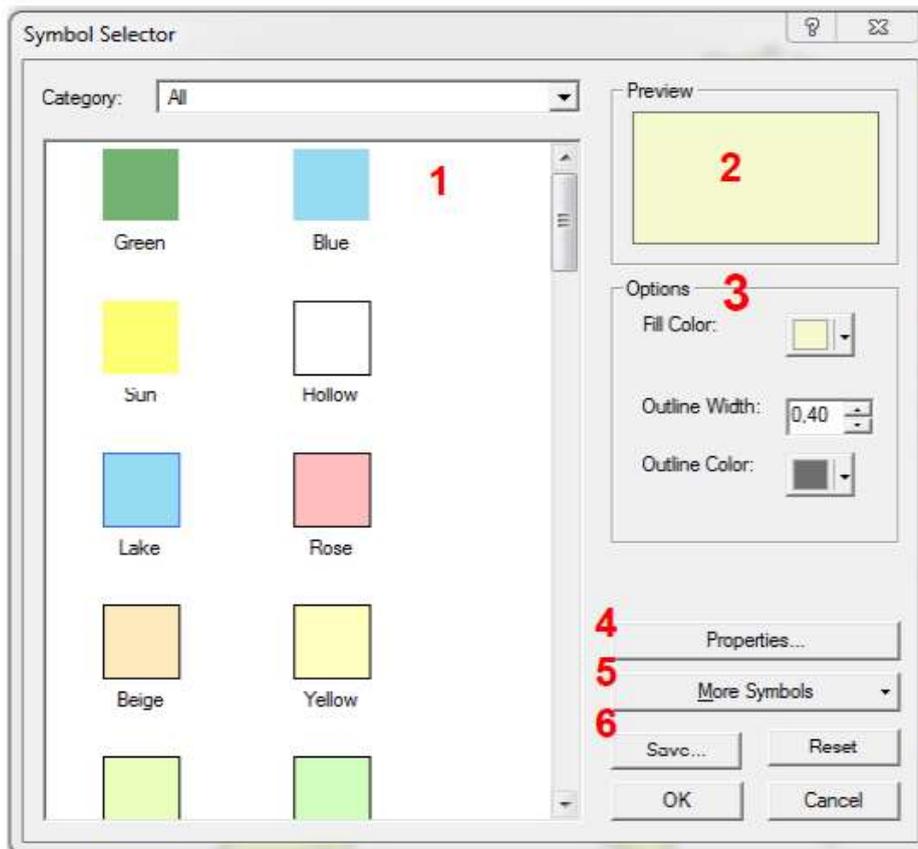
- Activer l'outil en question à partir de la Barre d'Outils, après il suffit de placer le curseur sur cette dernière pour que sa fonction apparaisse.
- On peut consulter la fonction d'un outil donnée dans l'*ArcToolbox*. Dans ce cas il faut



chercher l'outil /clic droit sur l'outil/ Propriétés les fonctionnalités sont mentionnées dans la partie Description.

IV.3.1.5. Modifier l'apparence de couches : l'interface ArcMap offre la possibilité de modifier l'apparence des couche de forme (donnée vector)

D. Modifier les couleurs



1. Catégories de symbole

2. Symbole actuel sur la

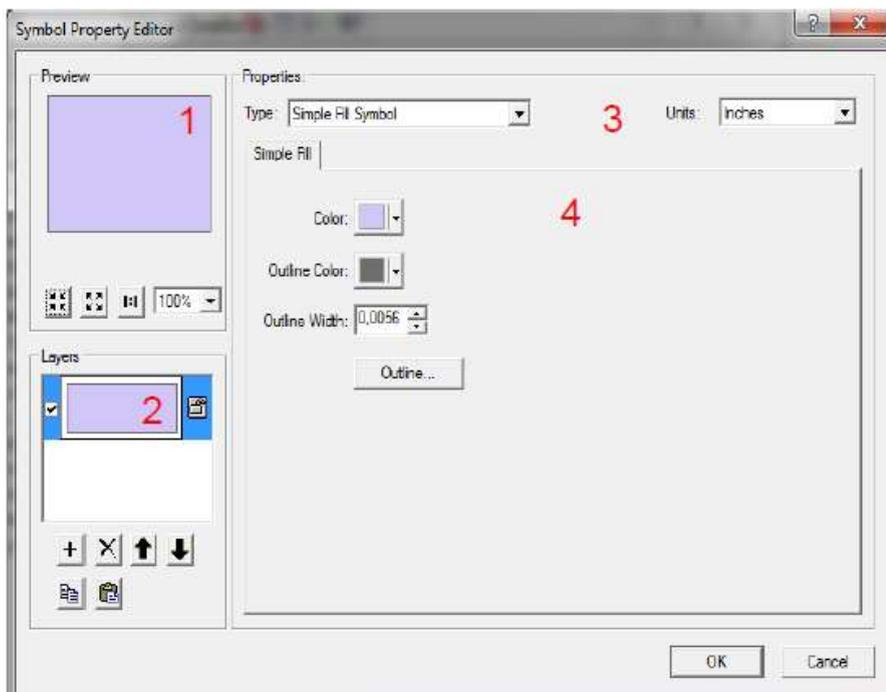
3. Définir les caractéristiques principales du symbole (couleur de remplissage, largeur et la couleur des bords)

4. Propriétés : pousser plus loin la définition du symbole

5. Plus de symbole : autres que la liste définie par défaut

6. Symbole supplémentaires : enregistré le nouveau symbole défini grâce au bouton Propriétés

A.1. Modification rapide : double clic ou bien clic droit sur le symbole dans la table de matière. Dont on peut changer la couleur et la texture du polygone ; changer la couleur et de type de son contour



1. Aperçu finale

2. Affiché, ajouté et supprimé des couches de motifs superposés

3. Choix du type de motif

4. Paramètres de la couche motif sélectionnée

A.2. Grâce à Symbole supplémentaires (le bouton Propriétés) on peut modifier la couleur et la texture en créant un nouveau motif de deux couches minimum (Simpel Fill Symbol, Marker Fill Symbole).

II.3.2. Découverte et Familiarisation avec ArcCatalog



Comme on l'a évoqué un peu plus haut, l'ArcCatalog permet d'organiser et de gérer les fichiers (création, suppressions, modification du système de projection...). Cette partie permettra de connaître les modalités du lancement, d'afficher, d'exploiter des données sous

ArcCatalog (Vidéo 2. Familiarisation _AcrCatalog.mp4)

II.3.2. 1. Mise en route ou le lancement du ArcCatalog



Selon les emplacements définis par l'utilisateur, l'ArcMap peut être démarré à partir de :

- Raccourci ArcCatalog sur le bureau
- de l'épingler au niveau de la barre des tâches
- Menu démarrer → Tous les programmes → ArcGIS → ArcCatalog.

L'interface d'ArcCatalog s'organise en cinq principales parties (Fig. 14).

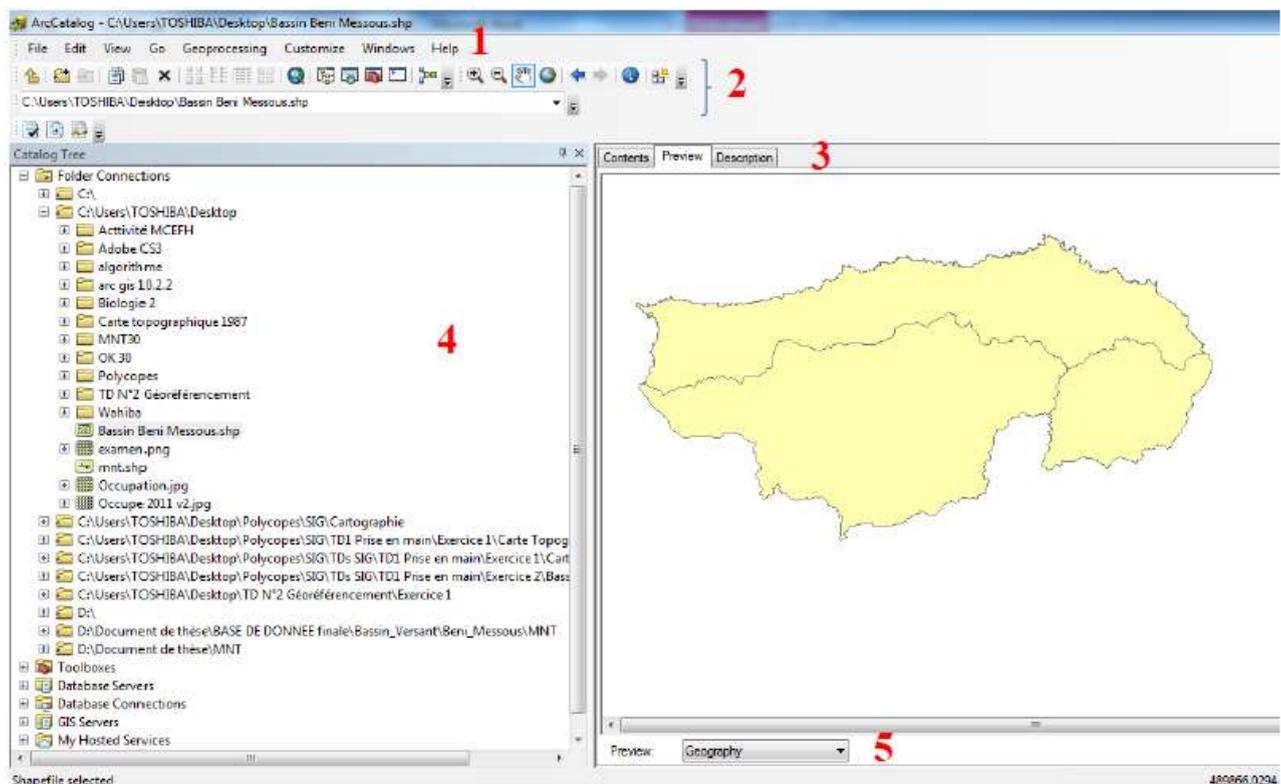
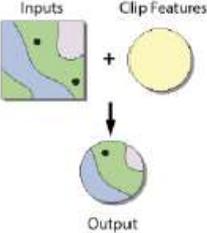
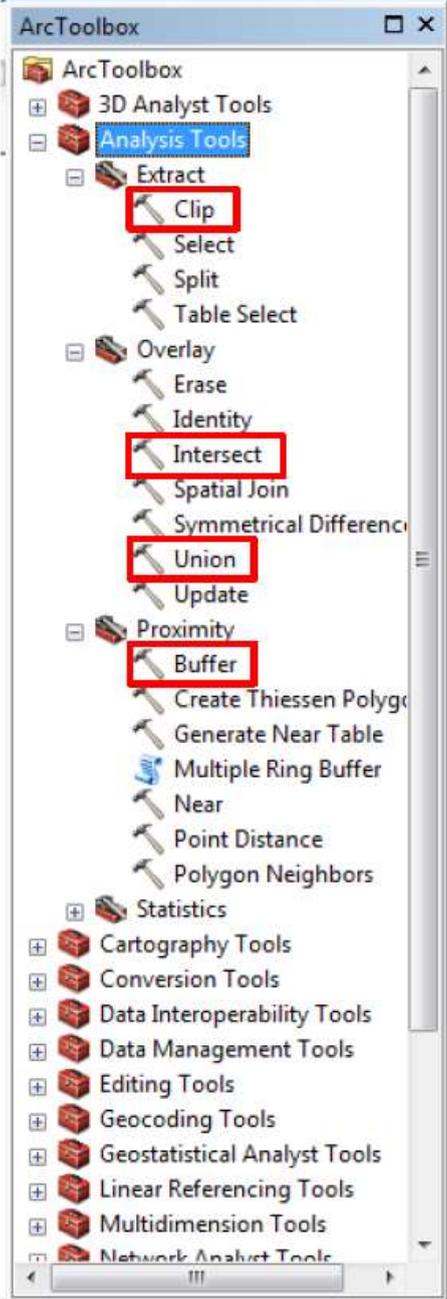
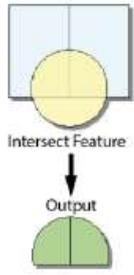
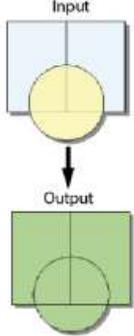
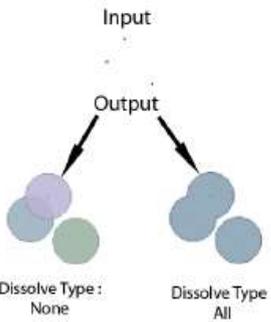


Fig. 14. Interface ArcCatalog : 1. Barre de menus, 2. Barre d'outils, 3. Fenêtre de visualisation 3.onglets : Contents, Preview, Description ou les métadonnées), 4. Fenêtre d'exploitation, 5. Mode de prévisualisation (géographique, tabulaire).

II.3.2. 1. Outils fréquemment utilisés dans ArcCatalog (également dans l'ArcMap)

 **Analysis Tools** est l'un des outils les plus utilisés, il sert plus à manipuler des fichiers de forme (Features). Pour les rasters, on utilisera plutôt l'outil  **Spatial Analyst Tools** (Tableau 2).

Tableau 2. Outils fréquemment utilisés dans ArcCatalog et dans l'ArcMap.

Outil	Fonction	Chemin dans l'ArcToolbox	
Clip	Extraction des entités « input » qui superposent l'entité de coupe « <i>Clip Features</i> »		
Intersect	Intersection de deux (ou plusieurs) fichiers de formes, leur attributs seront écrits dans la classe d'entités de sortie.		
Union	Union de deux fichiers de formes ; leur attributs seront écrits dans la classe d'entités de sortie.		
Buffer	Création d'une zone tampon (polygone) autour d'une entité spatiale, à une distance spécifiée.		

II.3.3. Géoréférencement des entités spatiales sous ArcGIS

En SIG, toutes entités spatiales doivent être géoréférencées dans un système de coordonnées. L'ensemble de couches formant un même bloc de donnée (même projet) doivent avoir le même système de coordonnées, à défaut l'exploitation spatiale de ses couches sera impossible (fausses localisation et fausses dimensions).

II.3.3.1. Quelques Concepts

Les principes de géoréférencement peuvent être résumés à travers trois principales notions, à savoir :

- Géoïde
- Référentiel géodésique (datum)
- Projection associé au datum

A. *Géoïde* : est la description de la forme et des dimensions de la terre qui s'approche au mieux de la réalité (Fig. 15).

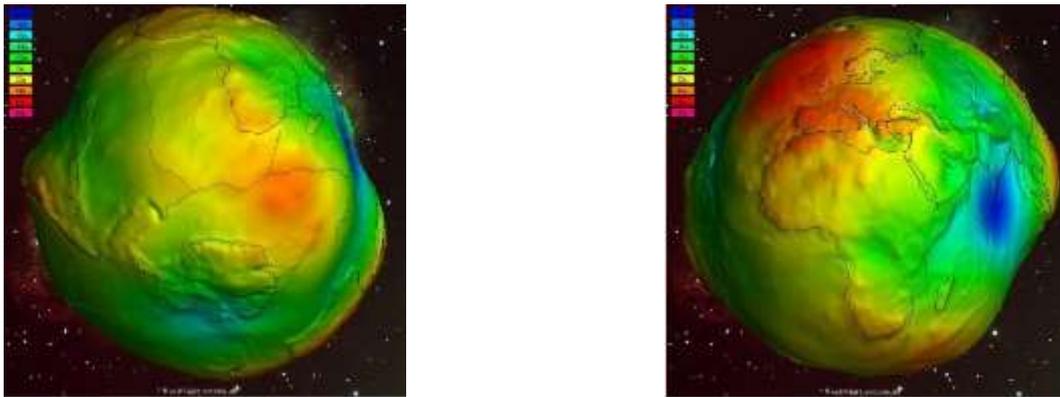
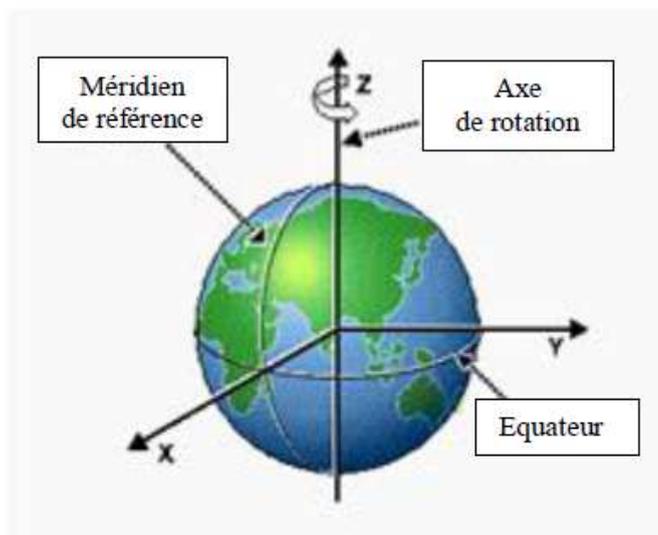


Fig. 15. Présentation du géoïde de la terrestre (NASA's GRACE mission)



B. *Référentiel géodésique* : il permet de localiser, mathématiquement et d'une façon univoque, un point dans un système de coordonnées en 3D.

Le système de référence géodésique peut être :

- **Local** : obtenu à partir des mesures au sol.
- **Spatial** : obtenu à partir des mesures réalisées par les satellites (GPS : Global Position System).

E. Coordonnées projetées

Transformation mathématique permettant de convertir les coordonnées angulaires développées par le système géodésique en coordonnées dans un référentiel cartésien (X et Y).

Les référentielles spatiales planaires sont plus pratiques pour mesurer une distance ou calculer une surface.

Deux principaux critères impliqués dans la classification des projections :

- Types de surfaces mathématiques utilisés
- Type de déformation

B.1. Types de surfaces mathématiques utilisés

Il existe plusieurs types de surface utilisés dans la projection, dont les principaux sont :

B.1.1. Projection Cylindrique (UTM)

Cylindre tangente (équateur ou méridien) à l'ellipsoïde. Le méridien central et l'équateur sont des droites orthogonales (Fig. 16).

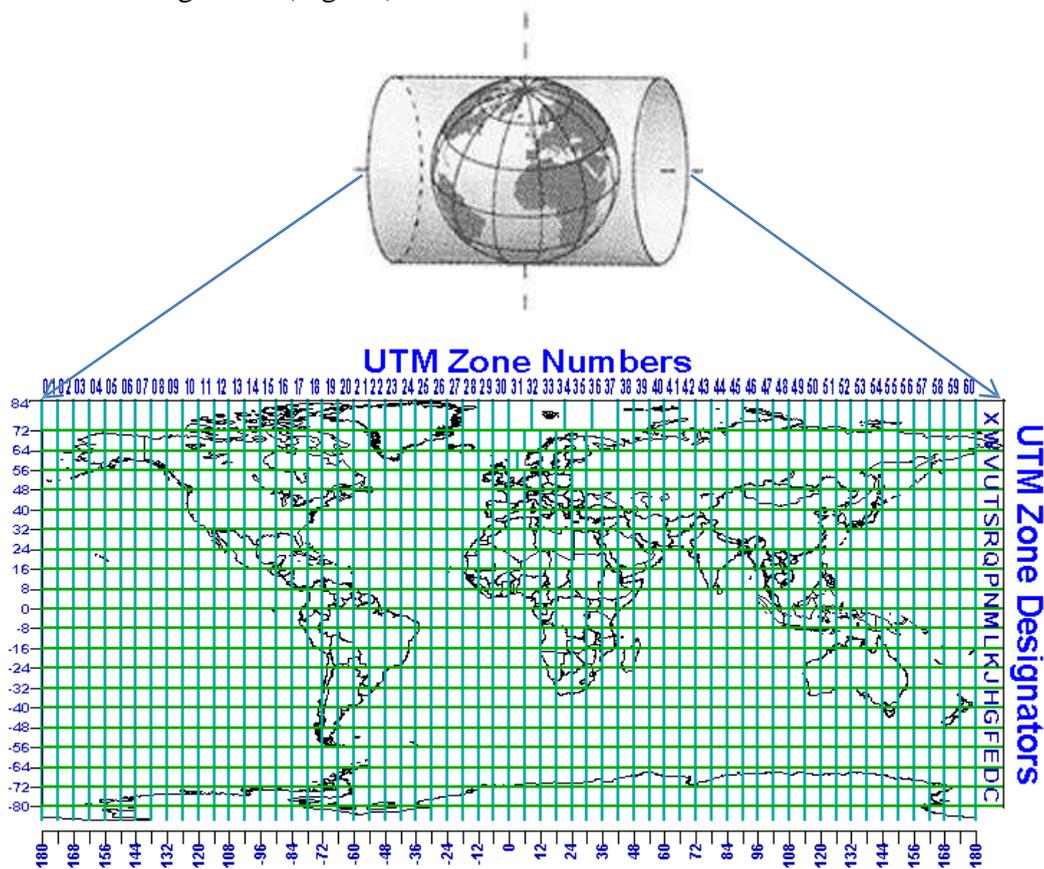


Fig. 16. La projection Transverse universelle de Mercator (*Universal Transverse Mercator* ; UTM ; Peter H Dana 97/94)

B.1.2. Projection conique où projection de Lambert

Les méridiens sont des droites concourantes, et les parallèles des arcs de cercle centrés sur le point de convergence des méridiens (Fig. 17).

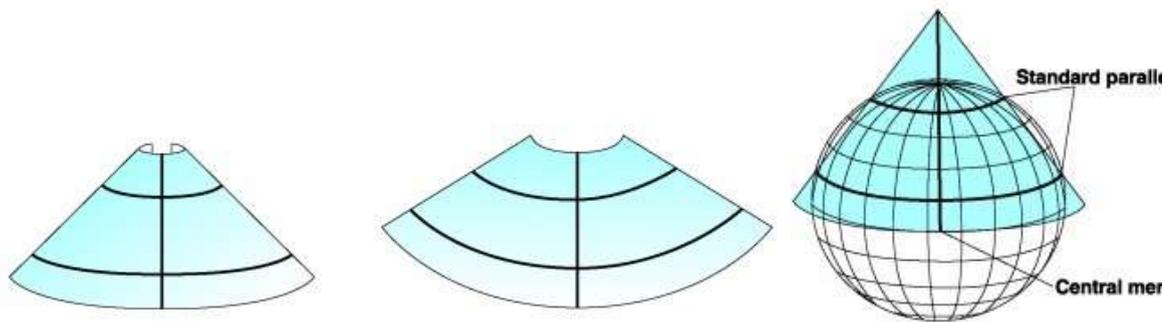


Fig. 17. Projection conique conforme de Lambert (Kennedy et Kopp, 2000)

B.1.3. Projection azimutale

C'est une projection plane, une portion de la surface de la Terre est transformée à partir d'un point de perspective à une surface plane (Fig. 18).

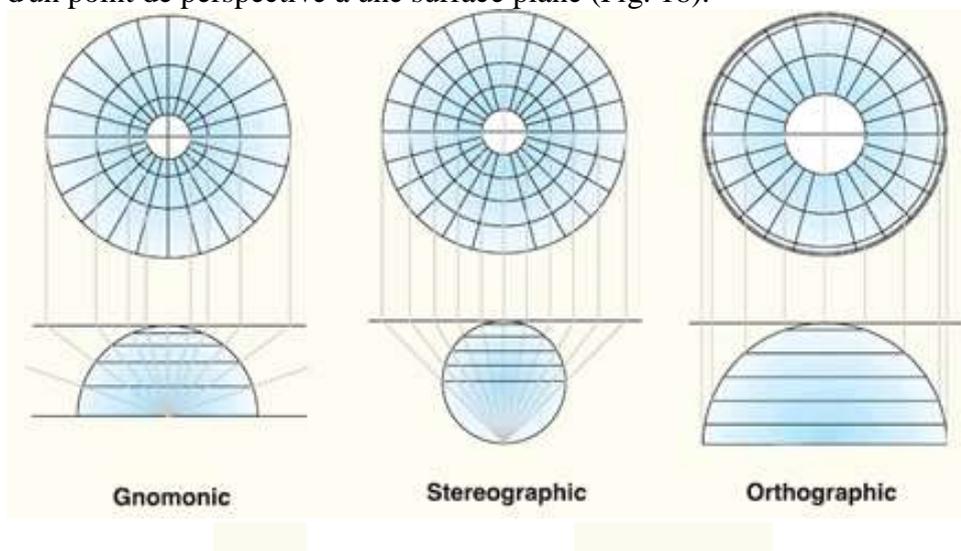


Fig. 18. Projection azimutale (August, 2009).

B.2. Type de déformations

L'aplatissement de la sphère terrestre engendre forcément des déformations :

- *Projection équivalente* : conserve les surfaces au détriment des formes
- *Projection conforme* : conserve les formes au détriment des surfaces
- *Projection aphyllactique* : essaient de trouver un compromis conservant au mieux les surfaces et les formes.

Le choix de la déformation est déterminé par le but du travail, par exemple si le document va être utilisé pour calculer des surfaces c'est la projection conforme qui sera privilégiée,

pour les cartes thématique on utilise plus la projection aphyllactique.

II.3.4. Production des données géoréférencées

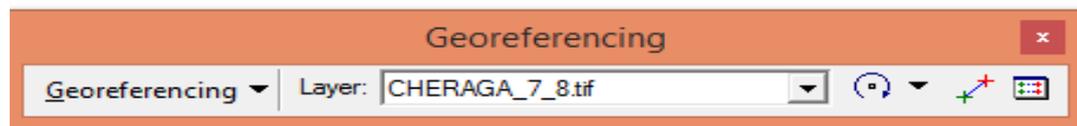
La création d'entités spatiales sous SIG s'appuie en grande partie sur la donnée raster (carte numérisée, image satellite, orthophotographie, ...), cette dernière doit être géoréférencée, c'est-à-dire associée à un système de coordonnées.

Un raster peut être géoréférencé :

- Par saisie de coordonnées connues
- A partir Fichier raster
- A partir Fichier vecteur

II.3.4.1. Activer l'Outils Georeferencing

L'outil utilisé dans le géoréférencement est appelé Georeferencing. Il est activé *via* la barre d'outils.



Layer: CHERAGA_7_8.tif Affichage de la couche à géoréférencer



Permet le déplacement et la rotation de la couche à géoréférencer



Production des points de contrôles

Table des liens : dans laquelle les informations concernant les points de contrôles sont affichées (anciens et nouveaux coordonnées XY, Erreur).

II.3.4.2. Choix des points de calage

Les points de calages ne sont pas choisis au-hasard, il existe des règles à respecter, et elles sont les mêmes pour l'ensemble des méthodes de géoréférencement. Ainsi, les points doivent être :

- Eloignés les uns des autres ;
- Eparpillés sur l'ensemble de la surface de la couche ;
- Non aligné ;
- Conseillez d'ajouter un nombre suffisant de points jusqu'à l'affichage des résiduelles

(pas moins de 5 points).

II.3.4.3. Etapes du géoréférencement

Chacune des méthodes de géoréférencement, à sa propre démarche de réalisation. Néanmoins, l'outil et certaines étapes sont communs entre les différentes méthodes.

A. Géoréférencement par saisie de coordonnées connues

Ça consiste à renseigner les coordonnées (x,y) à des endroits (points) choisis sur la carte à géoréférencer (Fig. 19).

A.1. Récupérer les coordonnées en X Y

Pour récupérer au préalable les coordonnées d'une zone donnée, il existe plusieurs possibilités : à partir d'un document géoréférencé qui couvre la même zone, mesures sur le terrain grâce à un GPS, données satellitaires, Avec l'arrivée de Google Earth cette tâche devient extrêmement facile, vu qu'il couvre tout (ou presque) le globe terrestre avec un niveau de précision très acceptable.



Fig. 19. Carte topographique scannée ; tableau renfermement des coordonnées d'un nombre de points localisé sur cette carte.

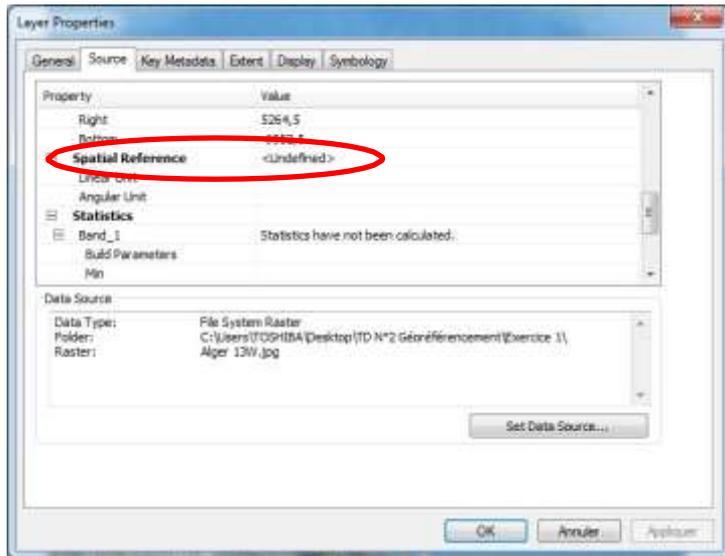
A.2. Saisir les coordonnées

A.2.1. Identification et changement de système de projection

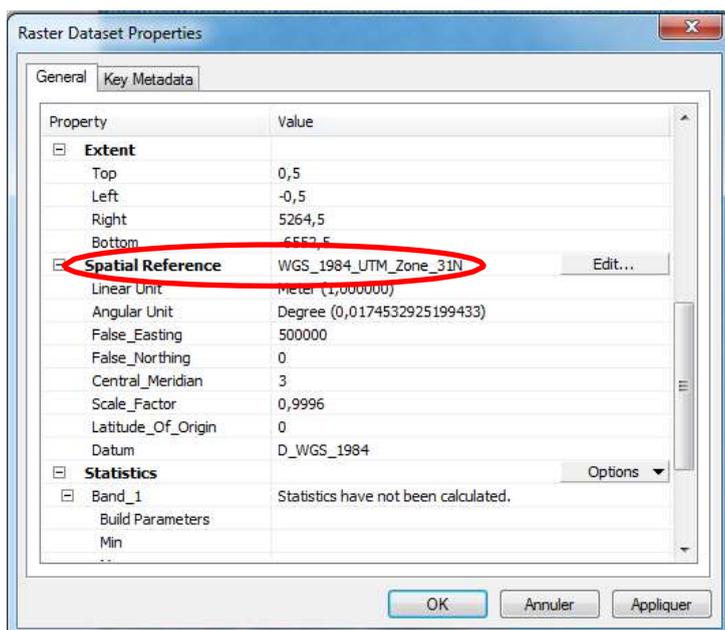
Dans une démarche de géoréférencement, ainsi que d'autres tâches qu'on veut effectuer en SIG, il faut absolument développer le réflexe de vérifier dans quel système de projection sont définies nos couches. Pour y faire :

Lancer ArcMap/ ouvrir le document à géoréférencer/clic droit sur la couche/ propriétés/ Sources puis faire descendre la barre de défilement (ou l'ascenseur) jusqu'à la ligne Spatial

Reference, là deux cas se présentent :

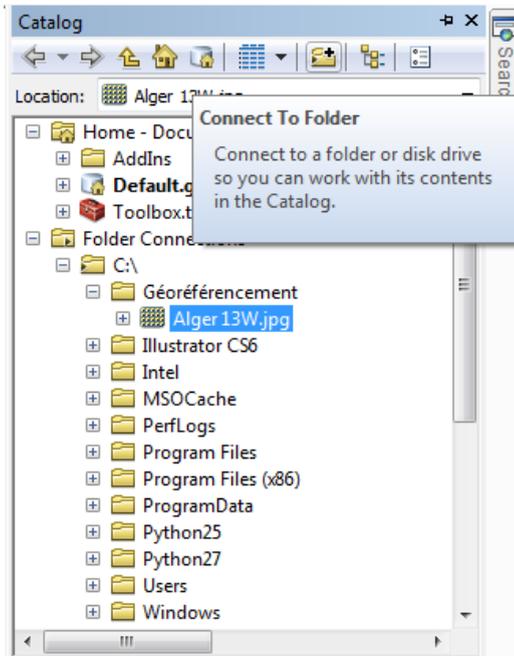


Indéfini (Undefined) : veut dire que la couche est dépourvue de système de projection, et donc il faut lui attribuer un.



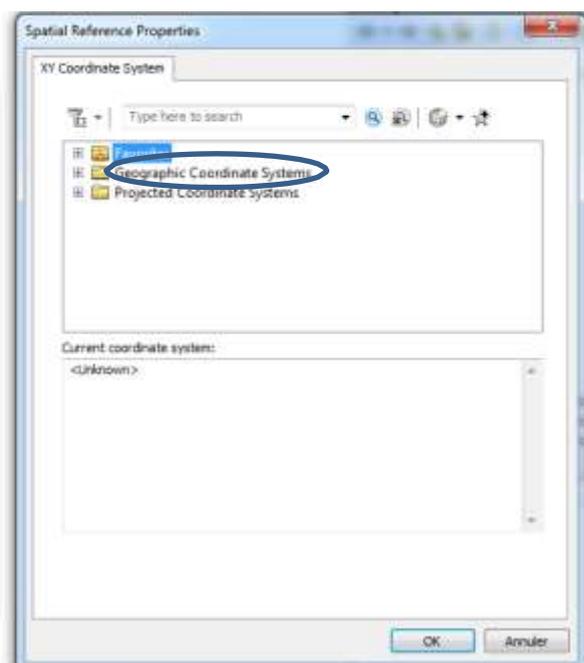
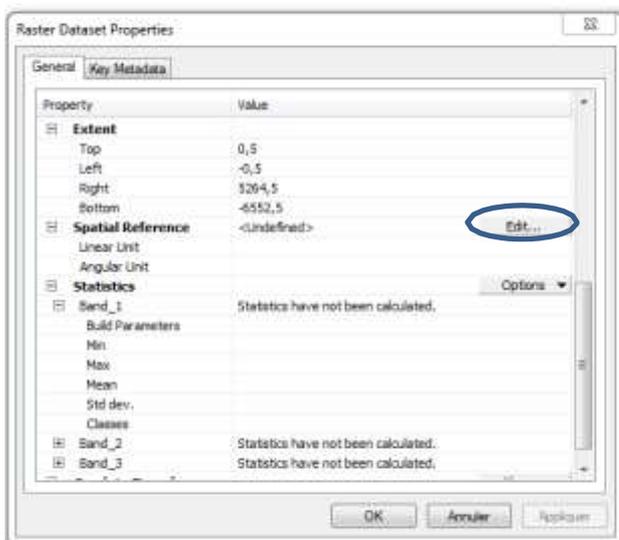
Un système de projection

s'affiche, si le système attribué est erroné ou il ne correspond pas au choix du système adopté pour notre projet, il faut donc le changer



Pour attribuer un système de projection à une couche ou changer son système, il faut suivre les étapes ci-dessous :

Lancer ArcCatalog/ ouvrir la couche à géoréférencier grâce à la fonction Con-



necter au Dossier (Connect To Folder)/ clic droit sur la couche/ Propriétés/ cliquer la barre de défilement jusqu'à Spatial Reference / Edit/ Geographic Coordinate Systems après on cherche le système qu'on veut attribuer à notre couche.

Pour changer le système de projection on procède de la même façon. Pour faciliter plus cette tâche et d'éviter de faire cette recherche de projection, à chaque fois qu'on ajoute une couche dans notre projet, on peut soit - *enregistrer la projection utiliser dans la liste des favoris* grâce à la fonction Ajouter aux favoris  (Add to Favorites) ou bien - *l'importer à partir d'une couche déjà travaillée* grâce à la fonction Ajouter un Système de Coordonnées  (Add Coordinate System/ Import).

A.2.2. Ajouter les points de contrôles

Activer l'outil Georeferencing / choisir la carte à géoréférencer (Fig. 20). A noter ici que l'outil Georeferencing prend par défaut la dernière couche ajoutée à ArcMap, donc il faut toujours vérifier au niveau de la barre d'outil Georeferencing (case Layer) qu'on travaille sur la bonne couche.

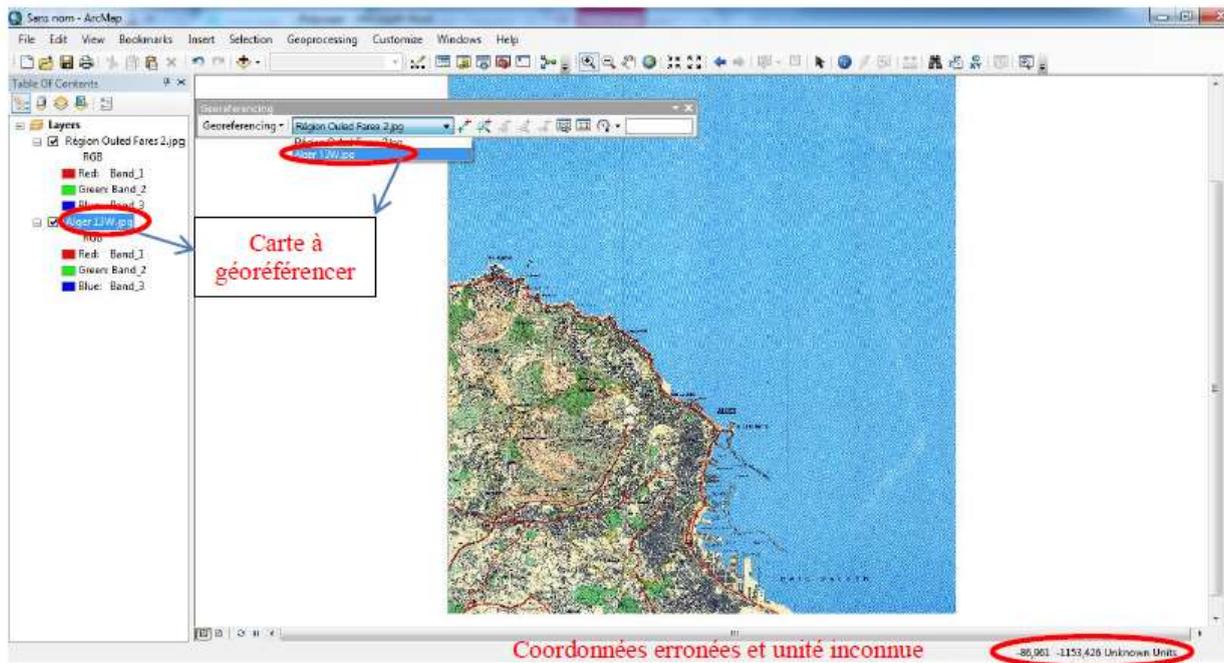
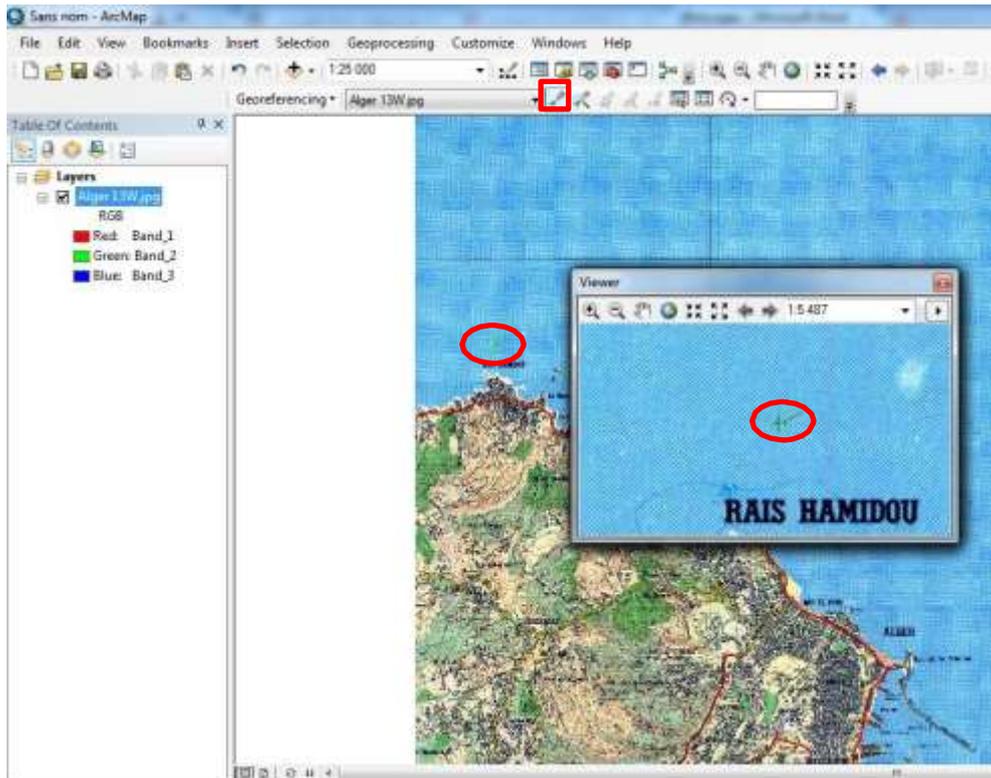


Fig. 20. Choix de la carte à géoréférencer dans la barre d'outils Georeferencing.

Important : avant de commencer l'ajout des points de contrôle il est important de désactiver la fonction d'ajustement automatique (Auto Adjust), afin d'éviter les possibles déformations de la carte. On peut désactiver l'Auto Adjust à partir du menu Georeferencing dans la barre d'outil Georeferencing, ou bien à partir de la table des liens.

Activer la fonction Ajouter Points de contrôle  (Add Control Points)/ cliquer à l'endroit (ou le point) où on veut introduire les coordonnées ainsi une croix s'illumine / clic droit sur le même endroit/ Introduire X et Y (Input X and Y ...). De la même manière on va ajouter l'ensemble de nos points de calage.

Pour localiser les points de calage avec précision il est important de zoomer suffisamment; pour faciliter cette tâche il est conseillé d'utiliser la loupe (fenêtre/loupe).



Point de
contrôle
numéro 5
(Voir Fig. 16)

Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	472,053984	-2704,774195	500063,525000	4074204,195000	0	0	0
2	5192,518072	-343,490410	511000,052000	4080002,668000	0	0	0

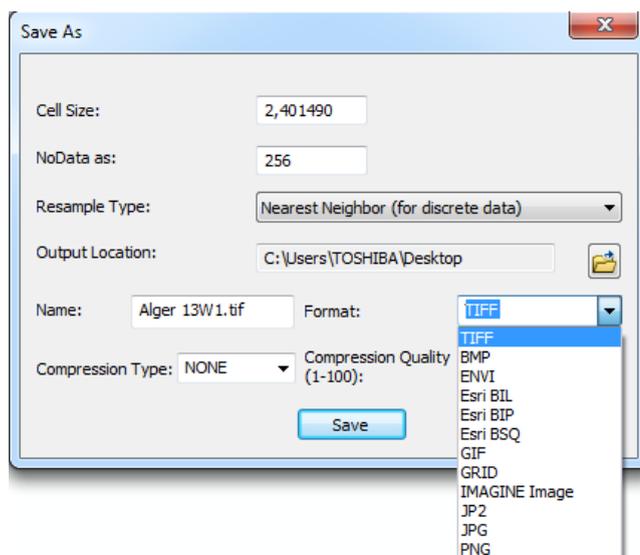
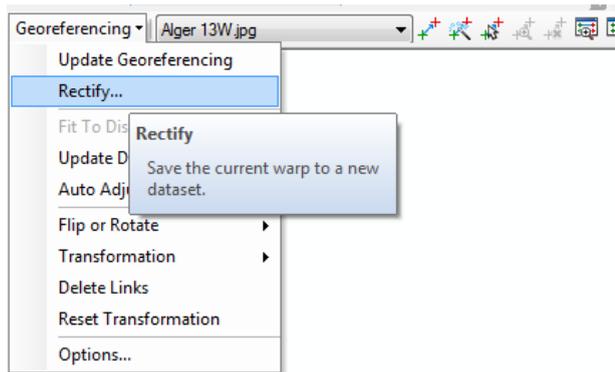
Auto Adjust. Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)

Chaque point introduit va créer automatiquement une ligne dans la table des liens.

Il faut que les résiduelles enregistrées soient relativement petites (pas plus de 20 ; si la résiduelle ne s'affiche pas, cliquer sur géoréférencement/rafraîchir l'image), dans le cas contraire le point doit être supprimé et/ou remplacé. Il est conseillé d'enregistrer la table des liens pour conserver les points de calage afin de reprendre le géoréférencement de cette couche plus tard.

A.2.3. Création de la nouvelle carte géoréférencée

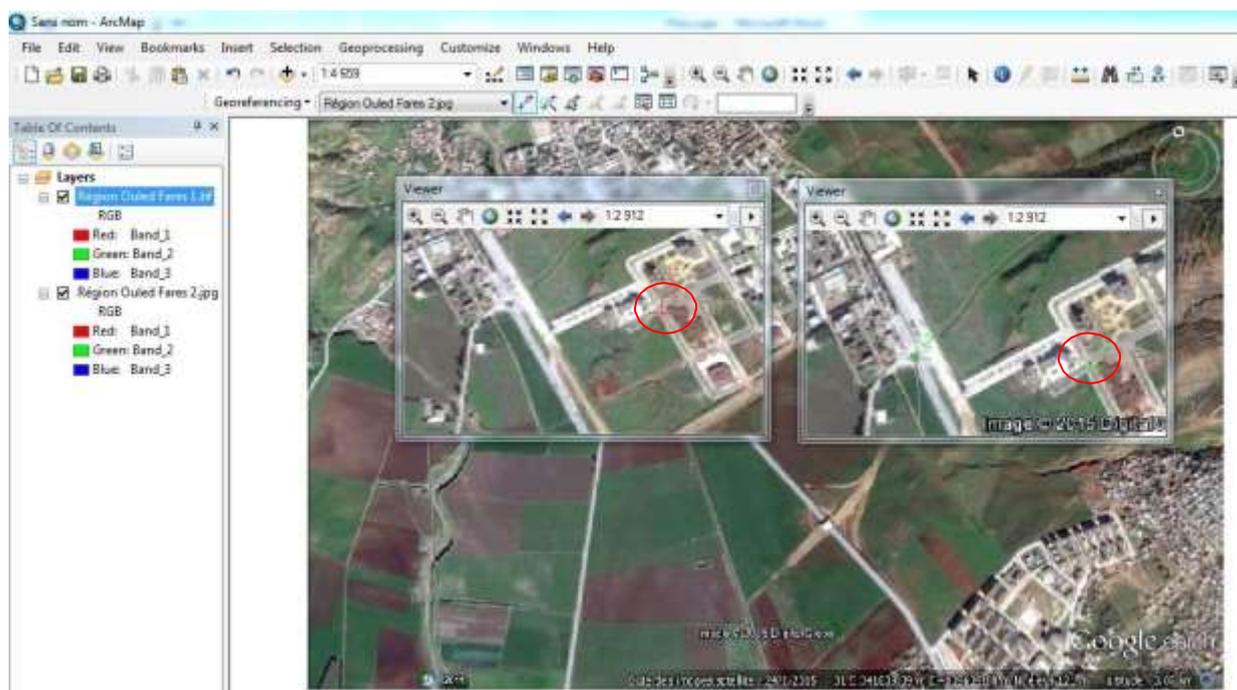
Cliquer sur géoréférencement/ rectifier (Georeferencing / Rectify) : ArcGis crée une nouvelle image géoréférencée qui reprendra le nom de l'ancienne carte et ajoutera le chiffre 1. Néanmoins, le nom, l'emplacement et le format peuvent être définis par l'utilisateur. Il est toujours conseillé d'enregistrer les travaux sous le format Tiff, car c'est un fichier d'image dans lequel on peut intégrer une information spatiale contrairement à un fichier jpg, bmp...



B. Géoréférencer à partir d'un fichier raster (ou vecteur)

Il s'agit de géoréférencer une carte raster à partir d'une autre carte raster couvrant un territoire commun.

B.1. Ajouter les deux cartes : il est possible par fois d'afficher les deux cartes côte à côte ce qui va faciliter la tâche des choix des points de calage. Mais souvent les cartes sont très éloignées dans l'espace et il devient impossible de les afficher côte à côte, donc il faut basculer entre les deux cartes (clic droit sur la couche dans la table de matière/ Zoom sur la Couche ; *Zoom to Layer*). Dans ce cas de figure, il est également conseillé d'utiliser la Loupe pour effectuer des zooms sur les deux cartes. Ainsi on ouvre deux loupes à zoom ajusté leur échelle, ces



zoom ont la capacité de pouvoir s'afficher côte à côte.

B.2. Activer l'outil Georeferencing, vérifier toujours qu'on travaille sur la bonne couche, et désactiver Auto Adjust/ activer la fonction Ajouter Points de Contrôle et on commence à créer des liens entre les 2 couches en cliquant en premier sur la couche qu'on souhaite géoréférencer. Après avoir ajouté un nombre suffisant de points on ouvre la table des liens et on vérifie la résiduelle et on supprime (remplacer) les points à forte résiduelle.

B.3. En dernière étape on rectifié la carte (Georeferencing / Rectify), où l'ArcGIS crée une nouvelle image géoréférencée, quand vas l'enregistrer sous format Tiff (cf. Supra).

II.4. Création de couche de forme (mode vecteur)

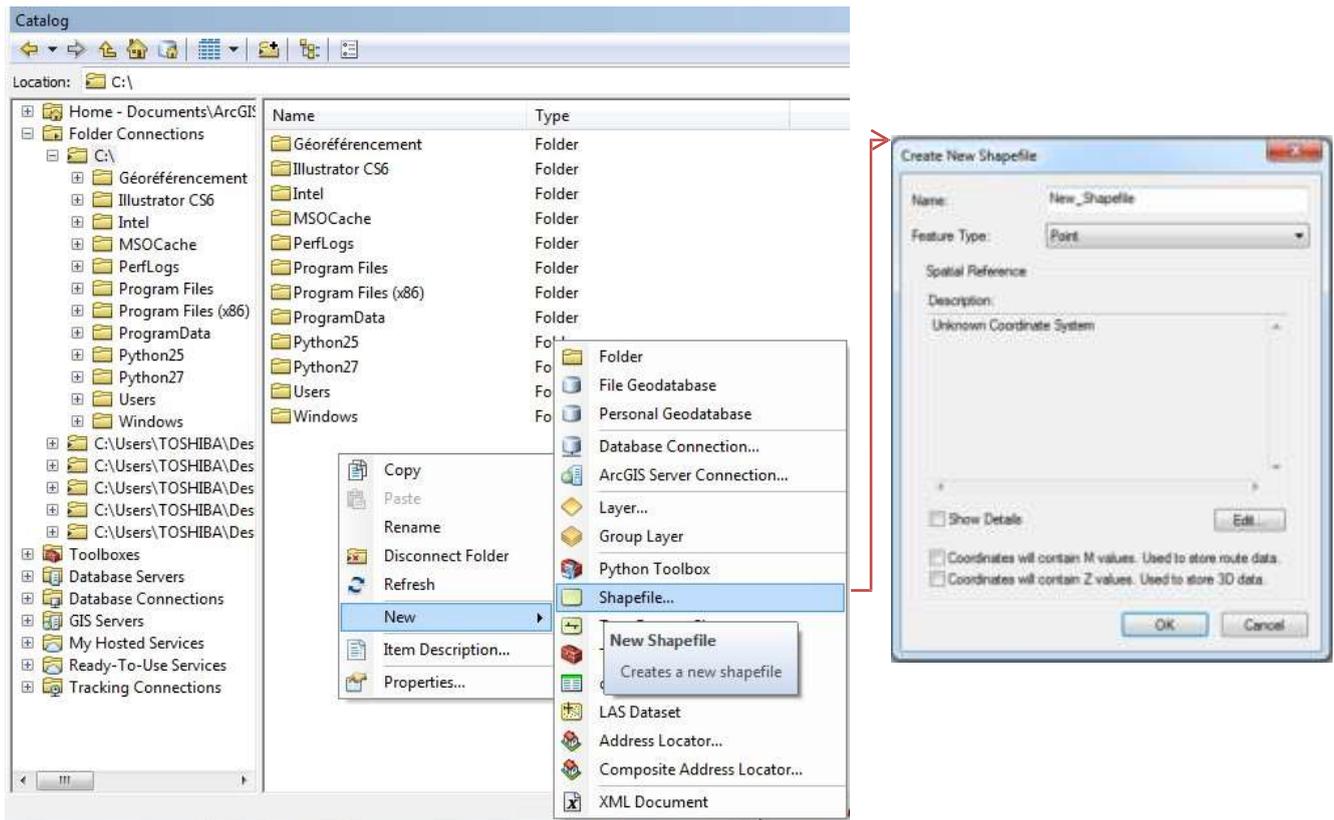
Comme on l'a vu dans le chapitre I, le mode vecteur reproduit les éléments constitutifs du monde réel à travers des points, des lignes (arcs) et des polygones.



II.4.1. Etapes de création de couche de forme avec ArcGIS

(Vidéo 3. Création_Couche de forme (mode vecteur).avi)

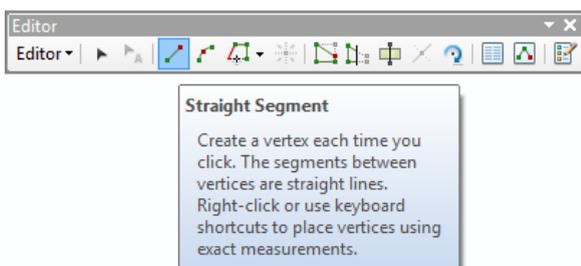
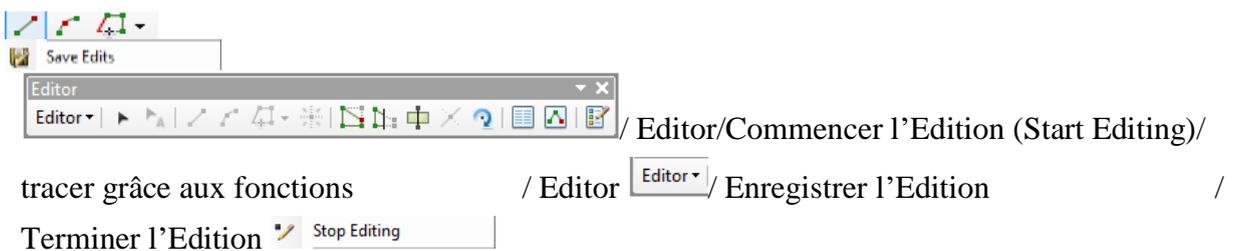
II.4.1.1. Créer une nouvelle couche de forme

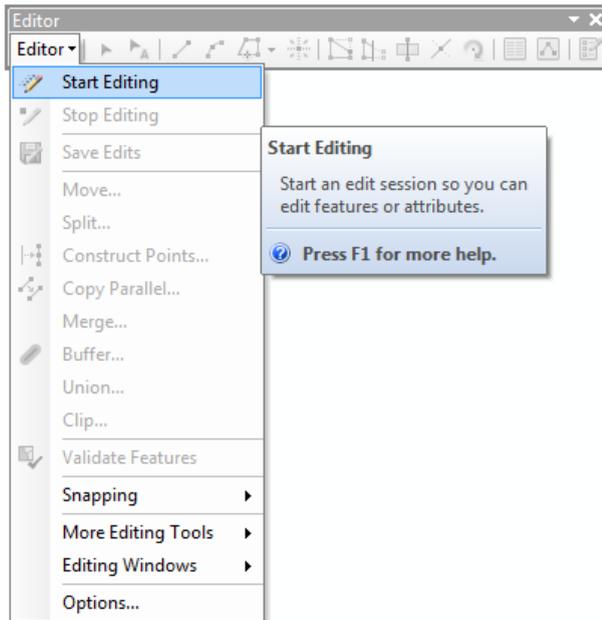
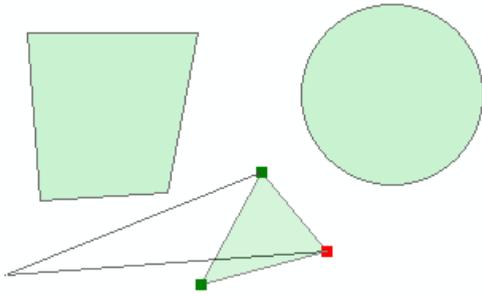


ArcCatalog/ choisir l'emplacement de notre couche (dans notre cas on va la créer dans le C)/ clic droit Nouveau (New)/ Fichiers de Forme (Shapefile ...) dans la fenêtre création de fichier de forme il y a trois informations à renseigner le nom de la couche (a ; Cours digitalisation), son type (b ; 3 types possibles point, ligne, polygone dans notre cas ça sera un polygone) et le système de référence (c) dans lequel la couche va être définie/ ok

II.4.1.2. Tracer ou digitaliser

Ouvrir ArcMap/ ajouter la couche Digitalisation Cours/ activer l'outil Editeur (Editor)

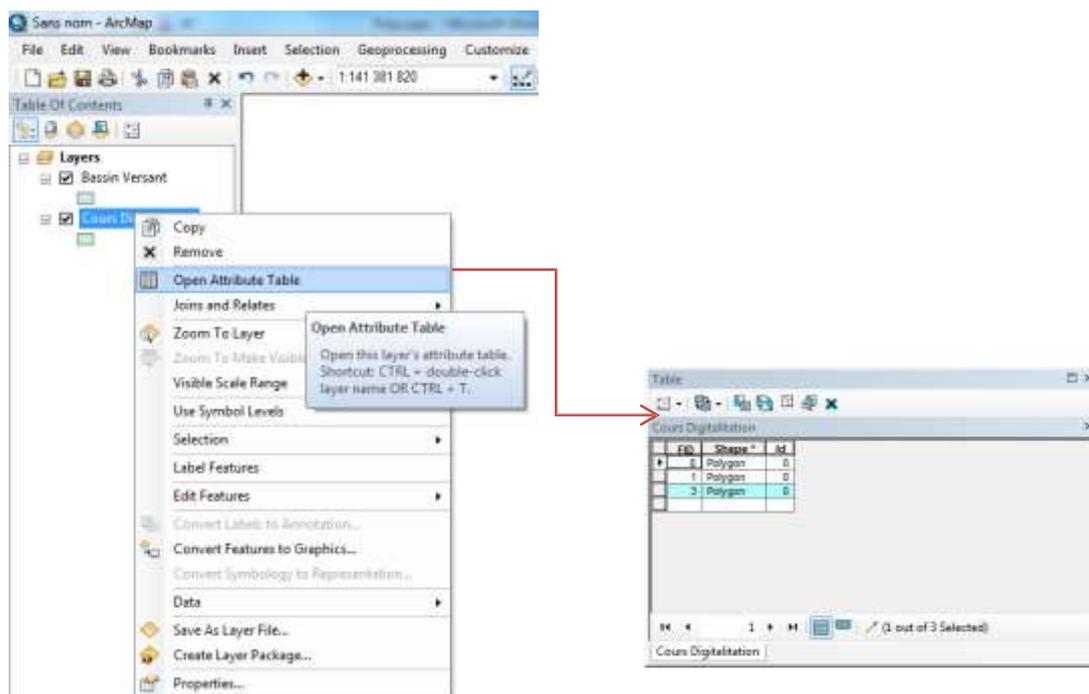




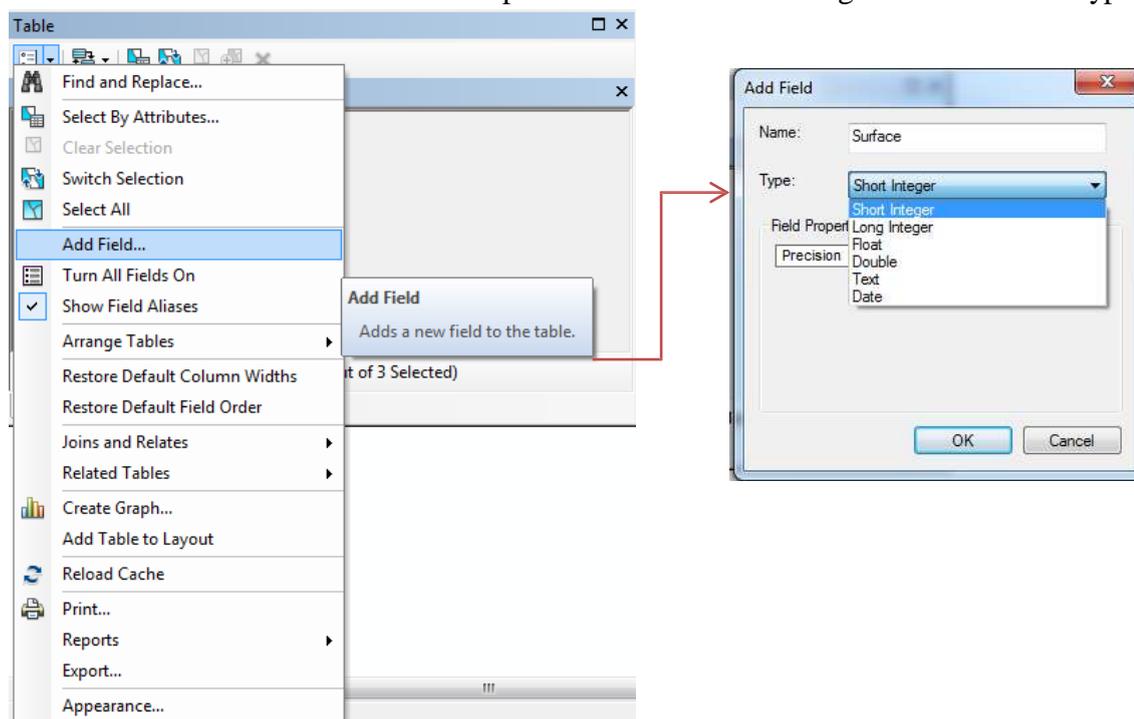
Avant de commencer il faut toujours vérifier si on travaille sur la bonne couche, si non on risque de modifier ou perdre de l'information. D'une manière générale, lors de la digitalisation, il est préférable de tout fermer et de ne laisser que la couche à travailler.

II.4.1.3. Renseigner la table attributaire

Pour ouvrir la table attributaire : clic droit sur la couche dans la table des matières/ Ouvrir Table Attributaire (Open Attribute Table)



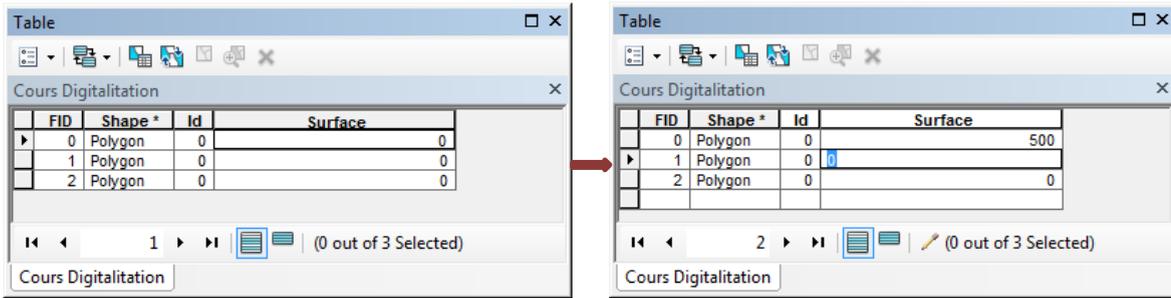
A. Ajouter une colonne dans la table attributaire : Editor/ Save Edits après/ Stop Editing.
 Puis ouvrir la table attributaire / Options / Add Field : renseigner le Nom et le Type de



l'information quand cherche à remplir (texte, chiffres, dates, ...)/ ok

B. Remplir les colonnes de la table : Redémarrer l'édition : Editor / Start Editing, ce qui va nous donner la main pour pouvoir écrire dans la table attributaire.

Et finalement, on ouvre la table attributaire et on remplit les cases. La table peut être renseignée de deux manières :

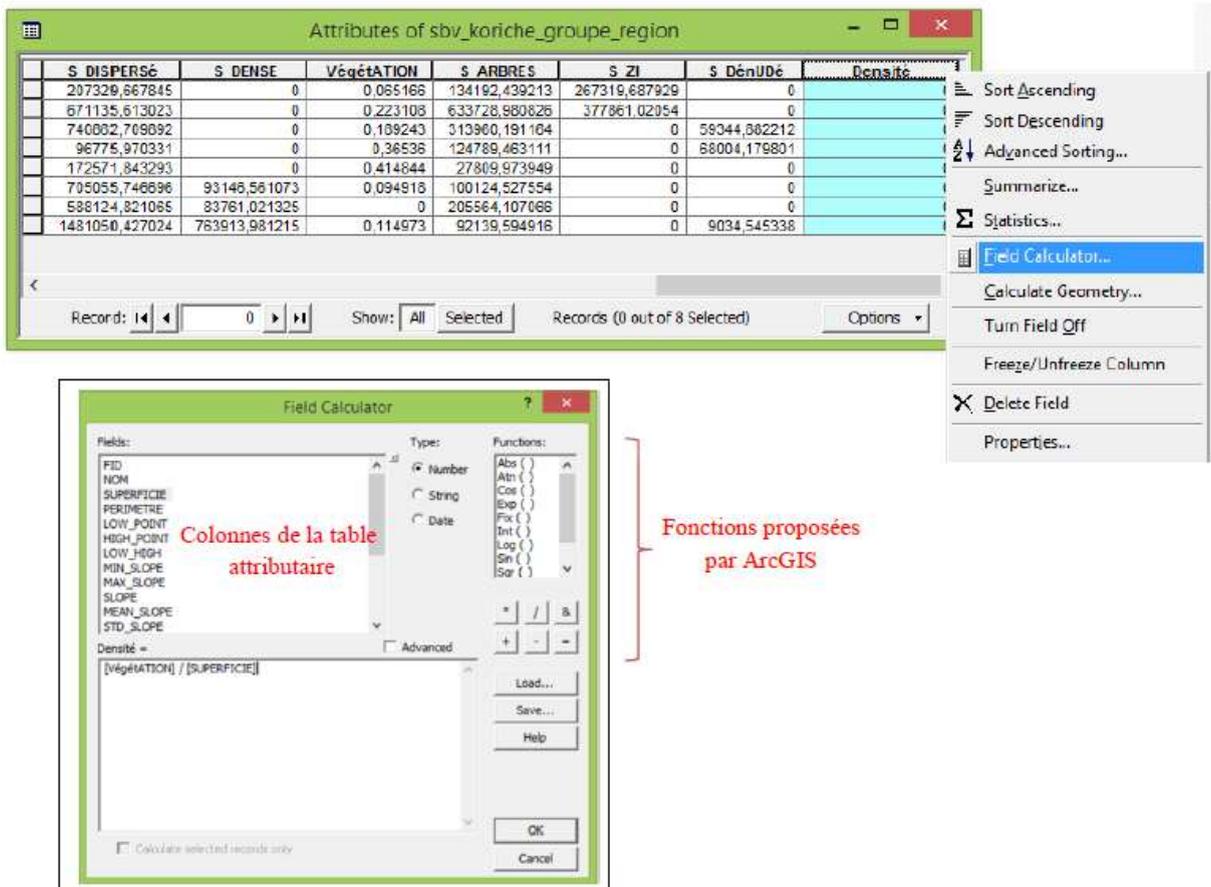


B.1. Manuellement

B.2. En faisant des calculs : plusieurs calculs sont possibles :

- *Des Calculs simple* tels les rapports, additions, soustractions, multiplications ..., ils peuvent être effectués dans la table attributaire. Après avoir Créé un champ dans la table attributaire pour accueillir les résultats/ clic droit sur le nom de la couche (Densité)/ Calculer des valeurs (Field Calculator ...)/ choisir les champs et la fonction (pour calculer la densité de la végétation on va diviser le champ Végétation par le champ Surface)

- *Calculs des surfaces, périmètres, longueurs*



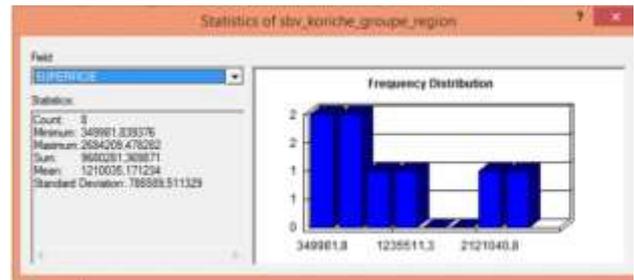
Clic droit sur le nom de la couche (Densité)/Calculs Géométrique (Calculate Geometry ...).

Attributes of sbv_koriche_groupe_region

FID	Shape	NOM	SUPERFICIE	PFRIMETRE	LOW POINT	HIGH POINT	LOW HIGH	MIN SLOPE	MAX SL
0	Polygon	20	66510		669	364,1838	290,2169	0	892,5
1	Polygon	17	221702		498	1584,344	1198,1942	0,3958	1721,8
2	Polygon	6	139621		319	974,1536	476,9217	1,057	632,3
3	Polygon	9	46951		389	616,7772	336,1383	0	358,1
4	Polygon	13	34998		685	644,7079	361,9393	1,105	490,1
5	Polygon	23	100707		514	435,1629	303,8115	0	466,9
6	Polygon	3	89115		832	723,5405	225,3573	0	363,9
7	Polygon	1	268420		735	1801,9553	1053,2205	0	1881,

Records (0 out of 8 Selected) Options

- Sort Ascending
- Sort Descending
- Advanced Sorting...
- Summarize...
- Statistics...
- Field Calculator...
- Calculate Geometry...
- Turn Field Off
- Freeze/Unfreeze Column
- Delete Field
- Proprietes...

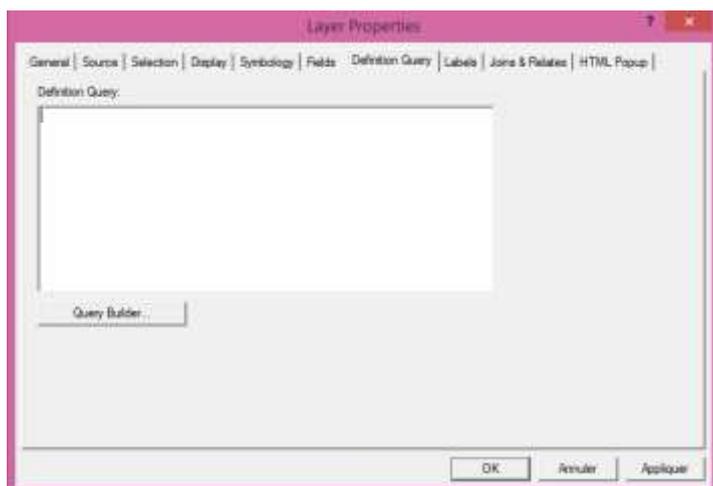


- *Autres calculs* : moyennes, sommes, écart-type,
- *Faire une requête*

ArcMap offre la possibilité de réaliser des requêtes de recherche / sélection d'entités sur base spatiale et attributaire *via* une requête de type SQL.

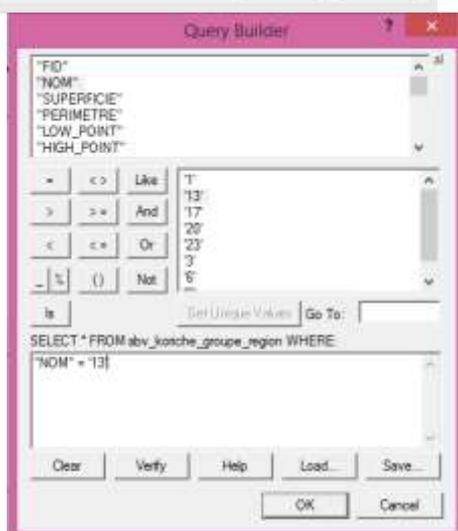


Clic droit sur la couche concernée / Propriétés / Ensemble de définitions (definition Query) / Générateur de requêtes (Query Builder)



Sélectionner un seul élément

Sélectionner plusieurs éléments



II.5. Cartographie thématique avec ArcGIS

L'ArcGIS offre la possibilité de produire des cartes finalisées destinées à être imprimées.

II.5.1. Quelques concepts

II.5.1.1. Qu'est-ce que la cartographie

Représentation de la terre (ou de autre planète) sous une forme géométrique et graphique grâce à la conception.

Elle est à la fois :

- Une science : car ses base sont mathématiques (détermination de la forme et les dimensions, système de projection, ...)



- Un art : car elle doit présenter des qualités esthétique et didactique, expressive et lisible, Cela exige de la part du concepteur des choix dans la représentation

Guillermo Kuitca, Torino, 1991.
Illustration extraite du Catalogue de l'exposition, La ville, art et architecture en Europe. 1870-1993, Paris Éditions du Centre Georges Pompidou, 1994, p. 396.

- Une technique : emploie des instruments (ortophotos, satellites, ordinateur, impres-



sion, ...)



Photographie Aérienne

Technique de photogrammétrie

II.5.1.2. Cartographie thématique

Dans le cadre de notre module on va plutôt réaliser de la cartographie thématique, et non de la cartographie mathématique (Fig. 21). Cette dernière, étant utilisée pour réaliser des mesures précises sur le géoïde, a besoin des connaissances mathématiques et de techniques plus poussées.

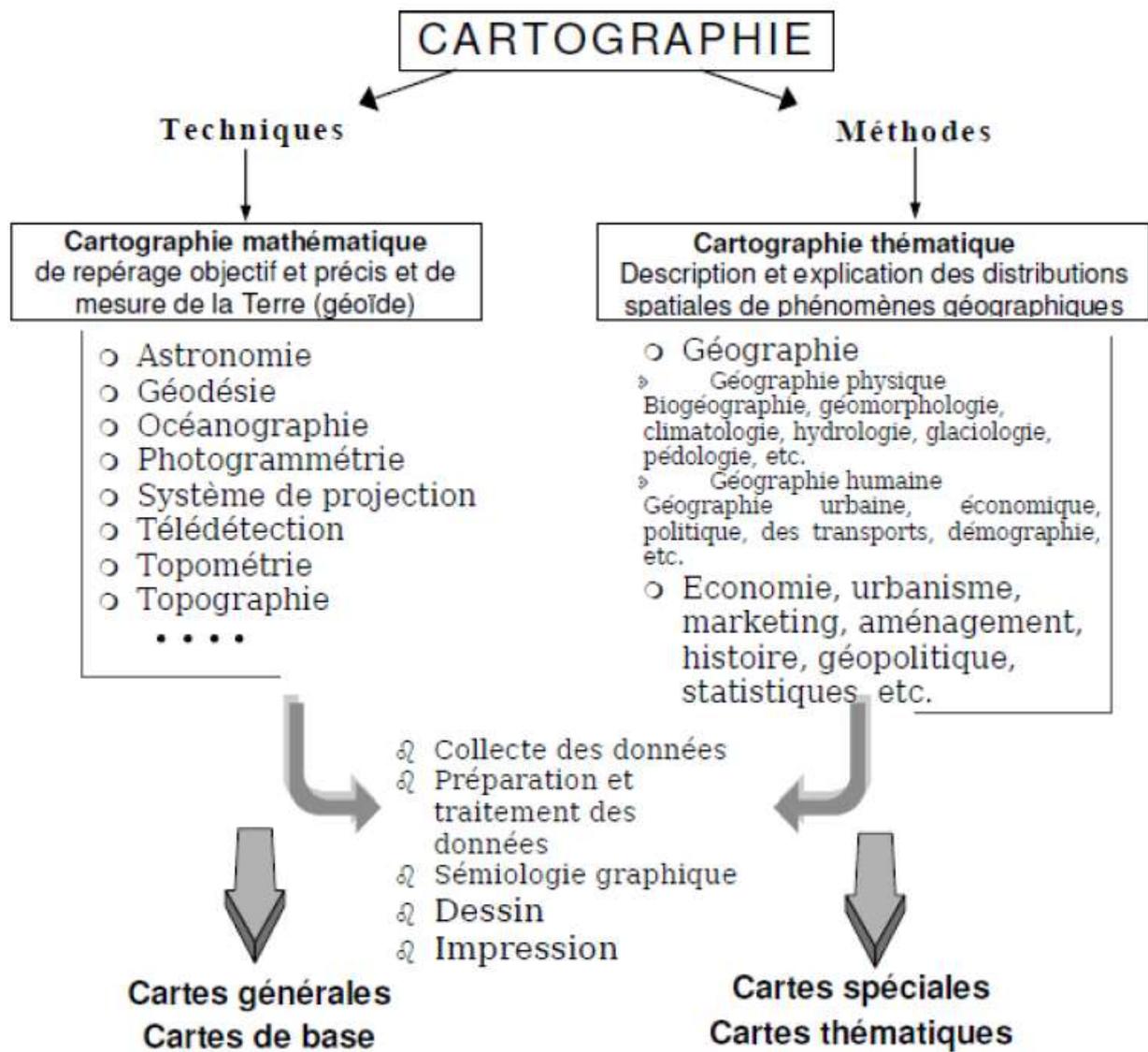


Fig. 21. Les deux grandes branches de la cartographie contemporaine (Didier Poidevin, 1999).

II.5.1.3. Démarche cartographique

Toute démarche cartographique est une simplification du monde réel. Elle se présente comme un moyen d'aide pour résoudre ou illustrer un problème.

Avant de commencer la cartographie et pour optimiser au mieux cette démarche trois questions doivent être posées :

- Pourquoi ?
- Qu'est-ce que je veux montrer ?
- Pour qui ?

Toute la cartographie obéit en fait à quelques principes de base très simples, relevant du simple bon sens :

- Un objet (phénomène) se traduit par un signe, et un seul ;
- Les variations de quantité, se traduisent par des variations de la taille du signe;

- Les variations de valeurs relatives ou calculée (quantités rapportées à une surface ou une unité : densité, taux, PIB par habitant etc...) se traduisent par une variation de couleurs ou de trames. Car la valeur est valable en tout point de la surface de l'objet géographique ;
 - Plus une valeur est forte, plus le signe qui lui correspond aura une valeur forte, et vice versa ;
 - On utilise les couleurs de plus en plus chaudes pour tous les phénomènes "positifs" et des couleurs de plus en plus froides pour tous les phénomènes "négatifs".

Pour synthétiser

Type de variables	Type de représentation
Absolute, brute	Symboles proportionnels (taille)
Relative, calculée	Plage de couleur ou de trames

Variable absolue	Variable relative
Nombre de population	Densité de population
Longueur du réseau hydrographique	Densité de drainage

II.5.1.4. Qu'est-ce qu'une carte

Selon Joly F (1977) « une carte est une représentation géométrique, plane, simplifiée et conventionnelle de tout ou d'une partie de la surface terrestre et cela dans un rapport de similitude convenable qu'on appelle échelle ».

Une carte est une représentation, sur un plan horizontal et à échelle réduite d'un espace donné (relief, végétation, activités anthropiques...).

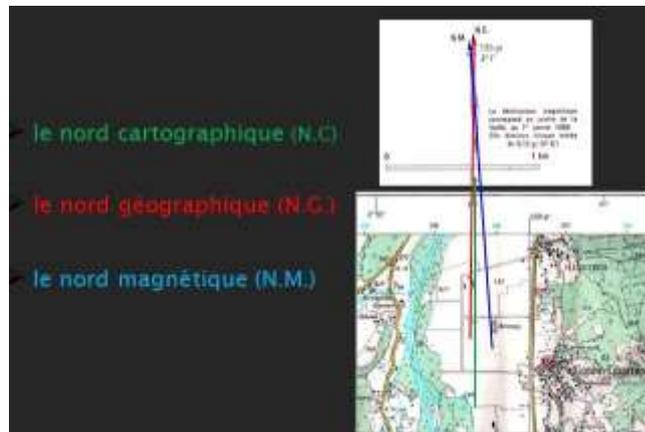
Selon le manuel de la cartographie, cinq grands principes devront guider le travail d'un cartographe :

- La carte est une représentation visuelle
- La carte est une représentation plane : c'est le passage de la sphère terrestre à un plan via la projection
 - La carte est une représentation réduite : le terrain est représenté selon un rapport de réduction dit échelle
 - La carte est une représentation simplifiée : faire le choix des objets à représenter et les remplacer par des figurés conventionnels.
- La carte est une représentation conventionnelle : le langage cartographique

A. Composition d'une carte

Sur une carte un certain nombre d'information doit être présent

1. *Système d'orientation* : nord cartographique, nord géographique (obligatoire lors d'une mise en page), nord magnétique.



2. *Echelle de réduction* : indique le rapport entre les démentions réelles et celles de la carte

Echelle de réduction = démentions sur la carte / démentions réelles

Exemple :

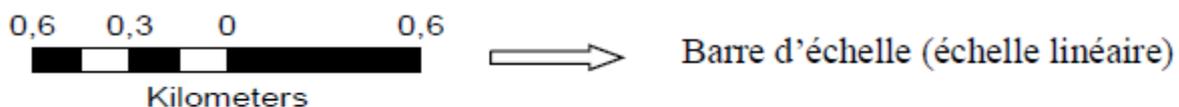
Carte au 1/25 000 : 1 cm <-> 25 000 cm, soit 250 m

Carte au 1/100 000 : 1 cm <-> 100 000 cm, soit 1 000 m, soit 1 km

Différence entre grande et petite échelle ? Souvent la notion de grande et petite échelle est utilisée d'une manière erronée.

- *GRANDE échelle* = représente un *PETIT* territoire $1 : 10\,000 = 0,0001$
- *PETITE échelle* = représente un *GRAND* territoire $1 : 1\,000\,000 = 0,000001$

3. *Présentation de l'échelle sous ArcMap* : ArcMap propose de nombreuses présentations, à titre d'exemple :



1 centimètres = 0,2 Kilomètres \Rightarrow Echelle présentée par un texte

Il est conseillé d'utiliser la barre d'échelle car cette dernière s'ajuste automatiquement lors du changement de la taille du document (taille d'impression variable). Echelle présentée par un texte sera perdue si un tel changement surviendra.

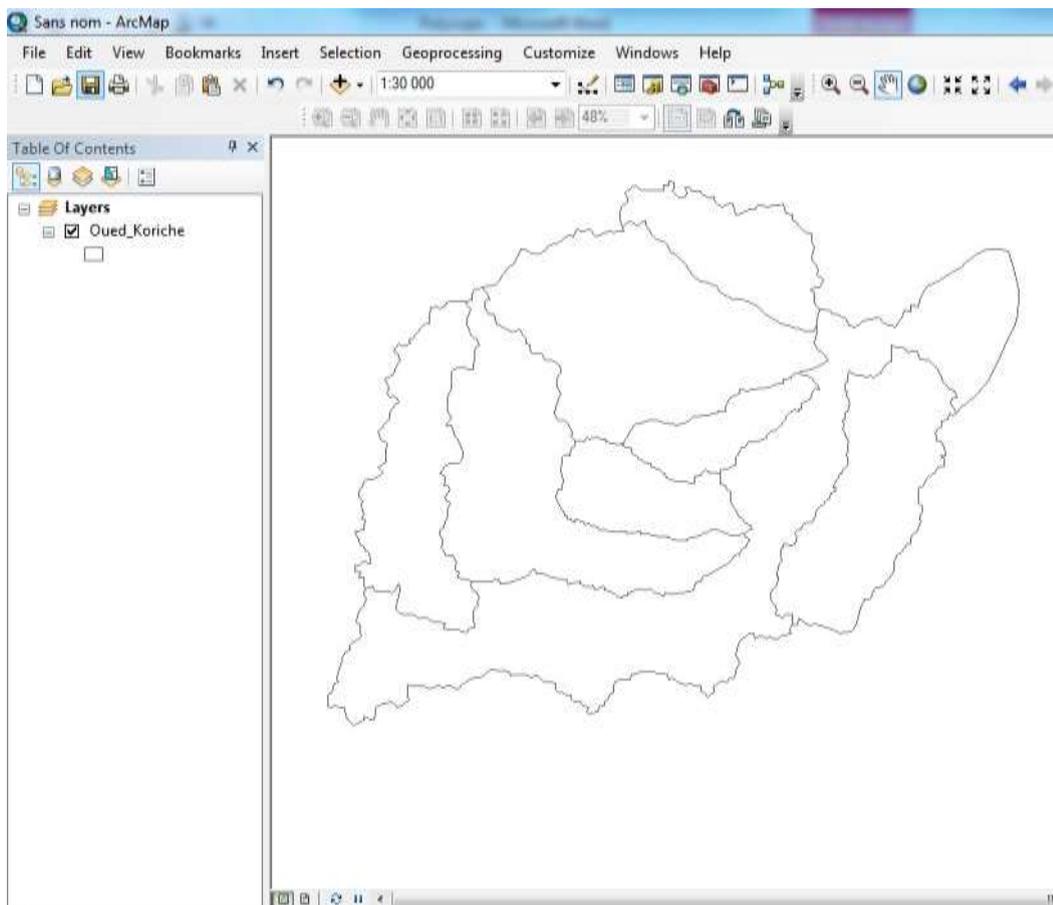
4. *Légende* : toute entité territoriale représentée sur la carte doit être définie par une légende

II.5.2. Mise en page d'une carte sous ArcMap

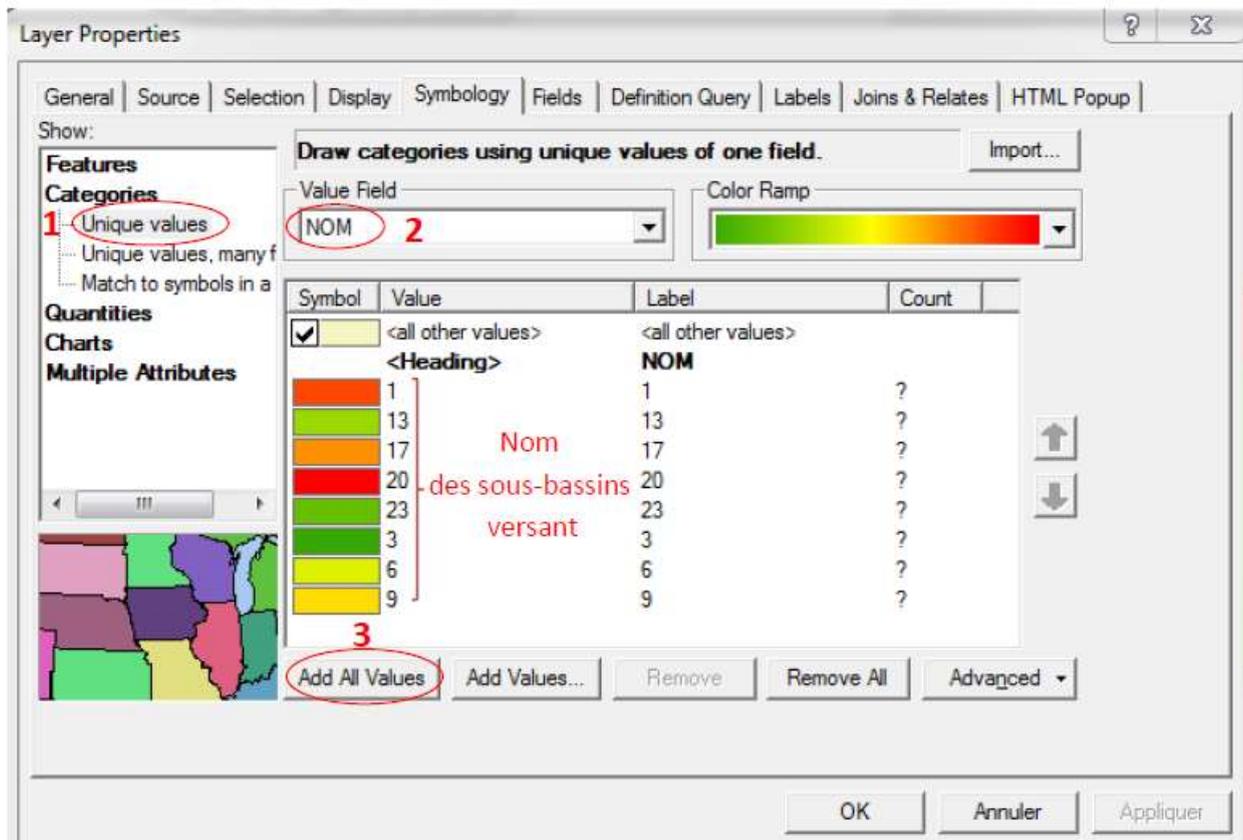
Dans ce qui suit on va voir les différentes étapes qui permettent de passer d'un fichier de forme à une carte prête à l'édition.

II.5.2.1. Edition des classes

On ajout un fichier de forme (.shp), composé exclusivement de couches d'objets de type polygones (exemple : le tracé d'un bassin-versant et de ses sous-bassins versants)



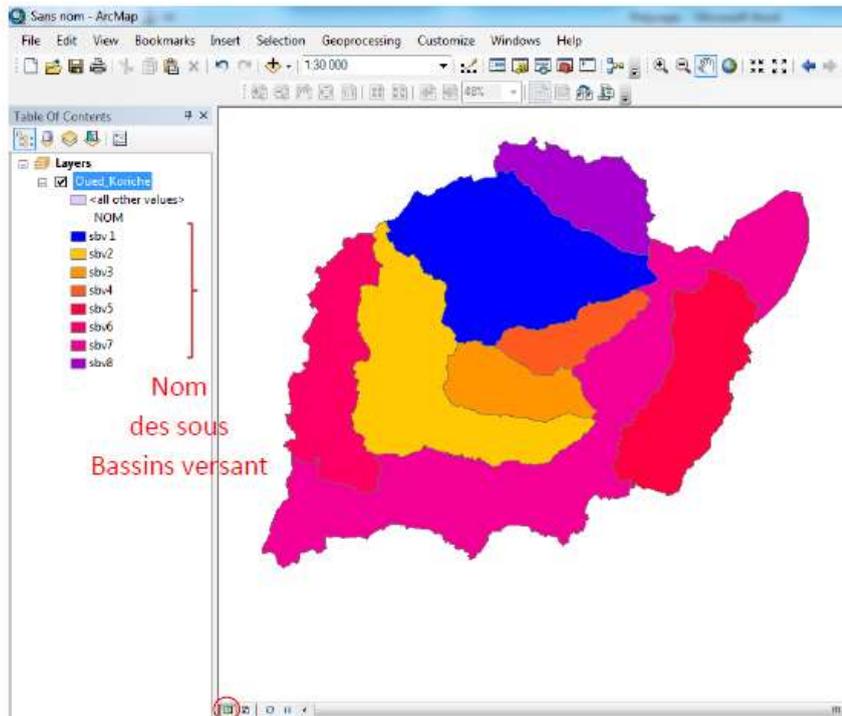
1. Clic droit sur la couche dans la table des matières/ Propriété/onglet Symbologie/ A gauche dans la partie Show cliquer sur Catégorie/ Unique values ;
2. Au milieu, aller à Value Field et sélectionner le critère sur la base duquel la classification sera réalisée ;
3. En bas cliquer sur Add All Values
4. Cliquer sur OK



II.5.2.2. Changer les noms des différentes classes définies (Si besoin)

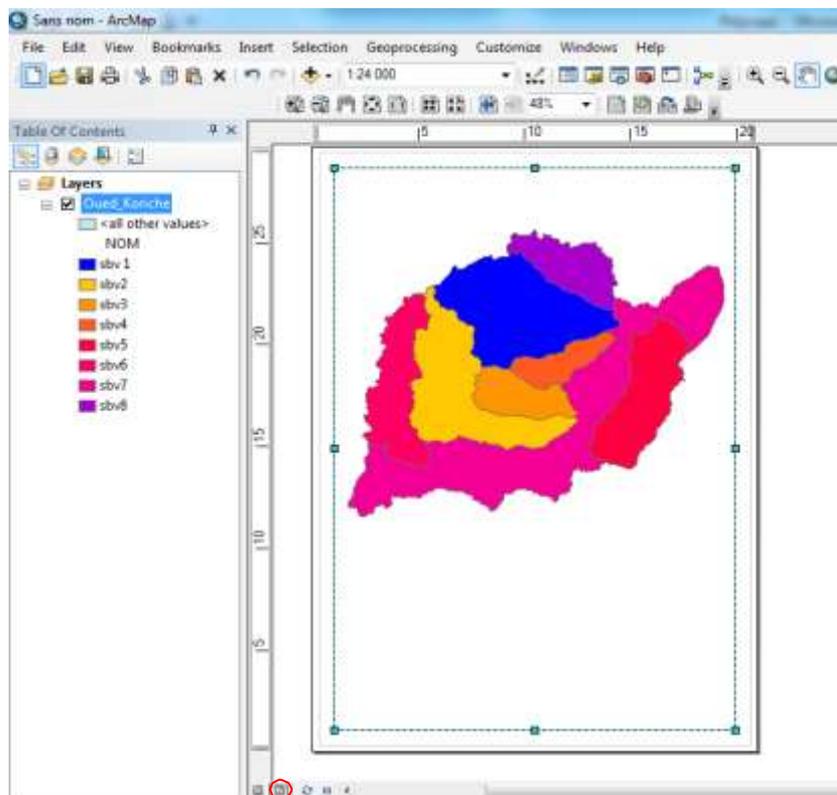
Deux manipulations sont possibles :

1. Changer les noms directement dans la table des matières ;
2. Changer les noms *via* la table attributaire :
 - Ouvrir la barre d'outil Editeur / Editeur/ Commencer Edition
 - Ouvrir la table attributaire, aller à la colonne dont on veut modifier et saisir les changements (modifier les noms des sous-bassins versants par exemple).

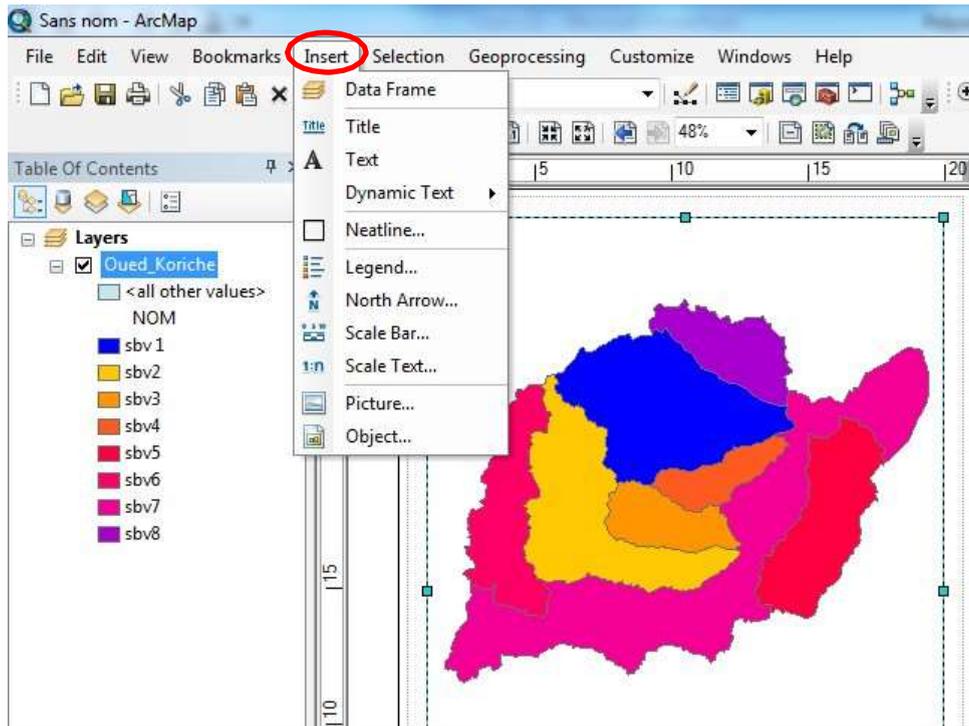


II.5.2.3. Habillage de la carte

1. Dans la barre de menu cliquer sur Affichage puis Mise en Page,

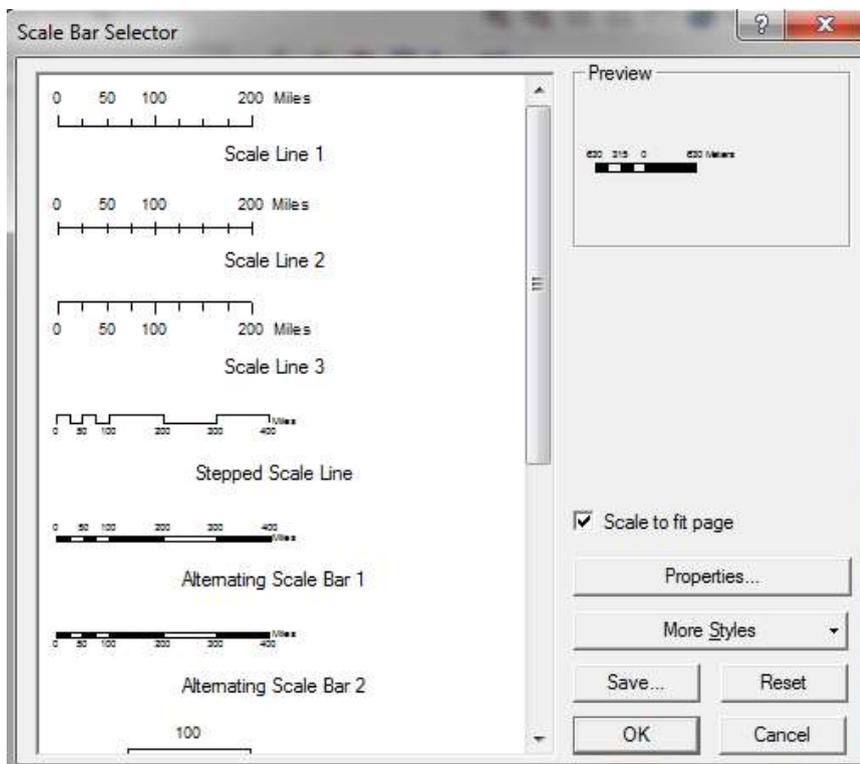


2. Dans la barre de menu cliquer sur Insérer et ajouter un titre (1), une légende (2), une

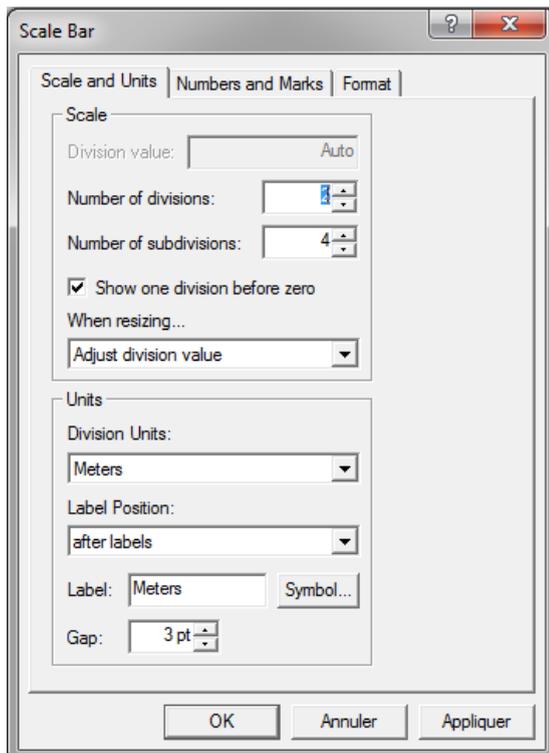


orientation géographique (3), et une échelle (4).

Echelle

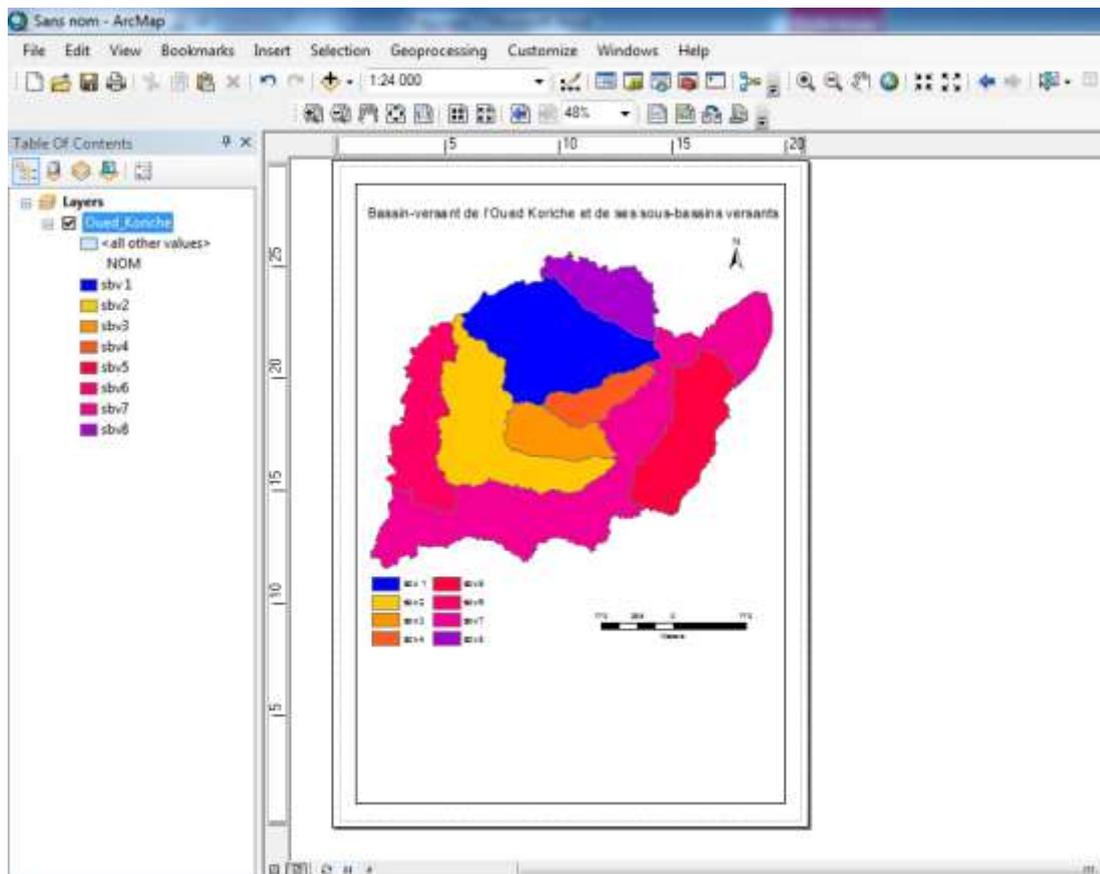


1. Choisir un modèle de « barre d'échelle » dans la liste. Pour plus de modèles ou un téléchargement d'un modèle personnalisé on clique sur More Styles

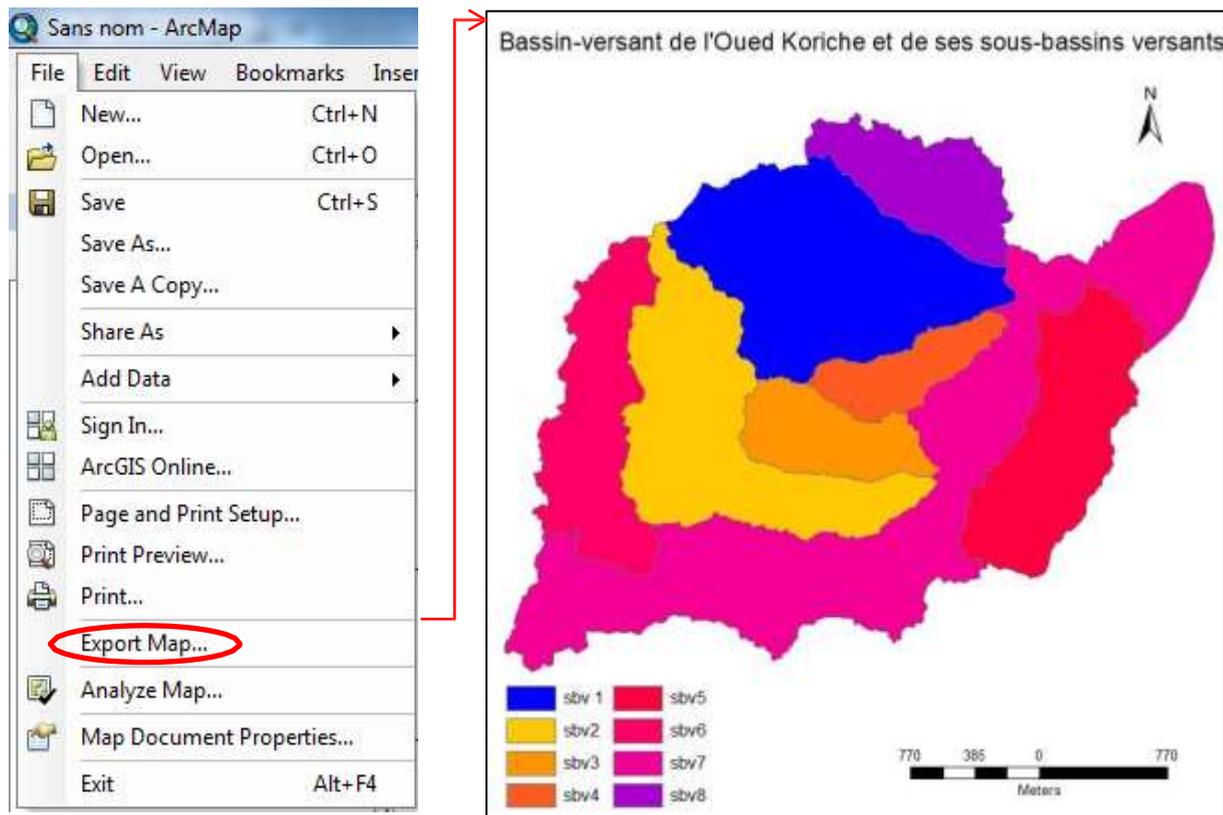


2. Pour paramétrer la

barre d'échelle la fonction Scal Bar offre plusieurs possibilités : changer le nombre de division ou sous-divisions, choix de l'unité de mesure, la position et la taille du texte,



3. Edition de la carte : pour éditer la carte sous forme d'image aller sur Fichier (File)/ Exporter la Carte (Export Map) puis choisir un emplacement et un format de sortie pour la carte/ Enregistrer.



Chapitre III. Application des SIG en Hydraulique et en hydrologie

Le SIG est devenu un outil d'étude et de gestion incontournable en hydraulique. Mais pas uniquement, ESRI développe de plus en plus de fonctionnalités qui permettent de réaliser des calculs de bases en hydrologie (cf. *infra*).

III.1. Conception et gestion des collecteurs et des réseaux d'alimentation en eau potable (AEP)

Par sa capacité de créer et de gérer une importante base de données, par sa capacité d'interconnecter les différents objets du terrain, et par une mise à jour facile des données, ... (cf. *Supra*), le passage à la conception et à la gestion des AEP, ainsi que l'ensemble d'ouvrage hydraulique avec des outils de SIG devient nécessaire voir obligatoire.

III.1.1. Objectifs et apports

D'une manière générale l'**objectif** d'utilisation des SIG dans la conception des AEP (ou des réseaux d'assainissements d'une manière générale), est de monter une base de données dans laquelle des différents éléments constitutifs du réseau sont identifiés et présentés, chacun de ces éléments est ensuite associé à ses caractéristiques (données attributaires), puis les différents éléments du réseau sont connectés entre eux, l'ensemble étant relié au même référentiel spatial. Une base de données ainsi conçue a de nombreux apports, dont elle présente :

- Un très bon outil de gestion, de planification, et d'aide à la prise de décision ;

- Un outil assurant un développement organisé et harmonieux des réseaux à différentes échelles ;
- Un outil très efficace de gestion de crise, permettant de répondre rapidement et adéquatement en cas de dysfonctionnement (pollution, ruptures, incendies,...)
- Le montage d'une telle base de données, à long terme, est un investissement bénéfique d'un point de vue économique. Dont on gagne en nombre d'agent d'intervention (main d'œuvre) et en temps de travail.

III.1.2. Etapes de conception

Le processus de conception de ces types de réseaux (AEP, réseau d'assainissement) peut être réparti en deux grandes phases :

III.1.2.1. Acquisition des données

- Acquisition de tous les plans qui existent sous format papier, ainsi que les descriptifs des infrastructures (matériel de construction, diamètre du tronçon, capacité d'évacuation, ...) ;
- Acquisition de toutes les activités informatiques existantes ou en cours de développement ;
- Acquisition de la donnée supplémentaire nécessaire à la conception des AEP tels : les informations: géologique, géophysique (séismologie), hydrographique, topographique, ... ;
- Acquisition des photographies aériennes, les images satellitaires, ... ;
- Données statistiques : recensement de la population, consommation moyenne par personne (ou bien par foyer), prévisions de développement ;
- Recenser les problèmes majeurs connus du réseau, en acquérant les relevés d'intervention pour des anomalies sur le réseau, des observations de pression, débits ;
- Valider et/ou compléter les données acquises par un travail de terrain.

L'étape d'acquisition des données est une étape longue et difficile à effectuer, pour de nombreuses raisons, dont on peut citer : l'information est souvent éparpillée entre différents services, les données sont non actualisées qui ce qui engendre un décalage entre le réseau réel et la base de donnée conçue, un autre problème souvent rencontré lié à la redondance de l'information dû aux multitudes des supports et du risque de mise à jour partielle.

Ainsi, après l'acquisition des données, un travail sérieux d'organisation, de classement et de suppression de la donnée redondante doit être effectué. A ce niveau, il faut monter ses propres fiches de travail dans lesquelles l'ensemble des entités du réseau sont définies. Ces dernières fiches sont justement celles qui serviront à construire le modèle conceptuel de donnée (MCD) qui lui-même sert à produire le modèle logique de donnée (i.e. le MLD est l'adaptation du MCD au logiciel SIG utilisé).

III.1.2.2. Production de la donnée numérique

Une fois les MLD conçu, on passe à la phase de numérisation de la donnée. Le choix de l'échelle de travail est déterminé par la précision recherchée et l'importance des éléments du réseau à vouloir intégrer. Il s'agit de numériser les données acquises, en commençant par :

- *Digitaliser les segments et renseigner leurs caractéristiques* dont les dimensions (diamètre, longueur, capacité théorique), les matériaux employés, la date de conception, résistance du réseau à la pression, butées, verrouillage des canalisations, capacité réelle,
- Dans un second temps on *digitalise et on code tous les autres éléments du réseau* tels : vannes, bouches à clés, ventouses, poteaux incendie, tampon de regards,
- Une couche d'information codant *les anomalies et les insuffisances* relevées sur le réseau sont à ajouter à la base de données.

Pour concevoir un réseau avec ArcGIS vous devez maîtriser le géoréférencement et la création de la donnée vecteur appris auparavant (voir TP N°5).

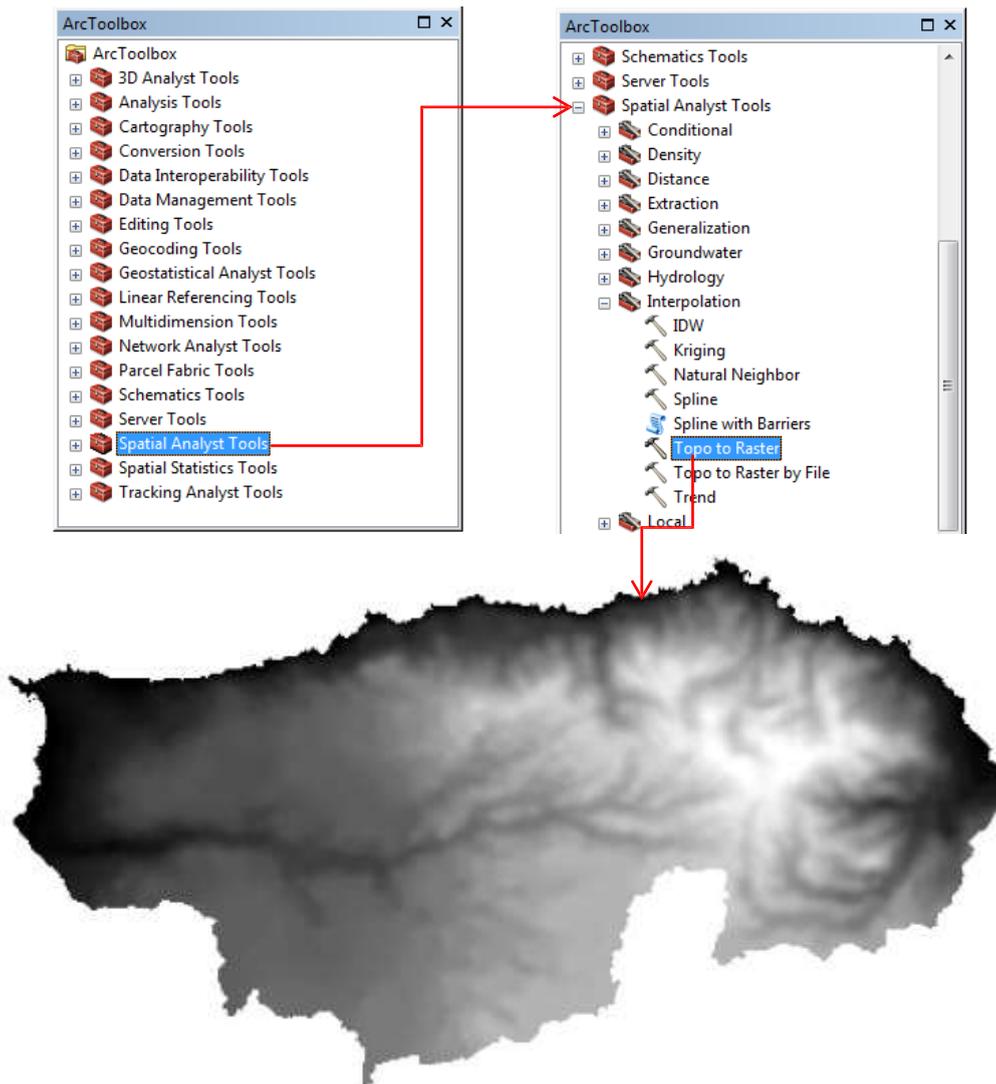
III.2. Montage d'un modèle numérique du terrain (MNT)

Un MNT est une représentation numérique du relief ou encore une représentation des valeurs d'altitude d'une zone donnée. A ne pas confondre avec le Modèle Numérique d'Altitude (MNA), qui lui prend en compte les hauteurs des objets (végétation, bâtiments, ...) placés sur le relief.

Le modèle numérique de terrain présente une donnée en or en hydrologie à partir du quelle plusieurs informations peuvent être dérivées dont on peut citer : les courbes de niveau, le réseau hydrographique, sa topologie et son hiérarchisation, la carte des pentes, courbe hypsométrique, la délimitation des bassins versants et de leurs sous-bassins, Sans oublier, le nombre indéterminé des calculs qu'on puisse réaliser : les surfaces des bassins versants, leur périmètres, les longueurs des segments du réseau hydrographique, la densité de trainage,

III.2.1. Montage d'un MNT à partir d'une carte topographique

1. Digitalisation des courbes de niveaux
2. Remplir la table attributaire avec les valeurs des altitudes



3. Création d'un MNT : ArcToolbox/ Spatial Analyst Tools/ Topo to Raster.

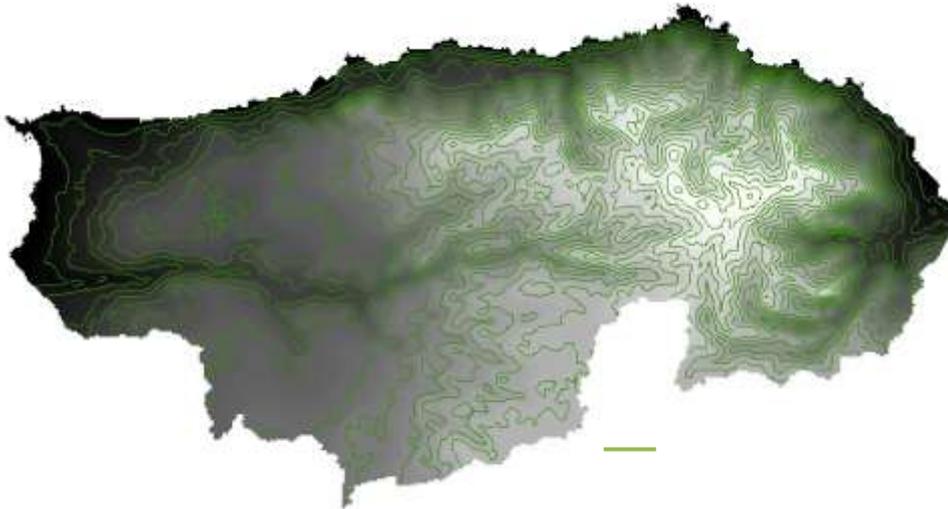
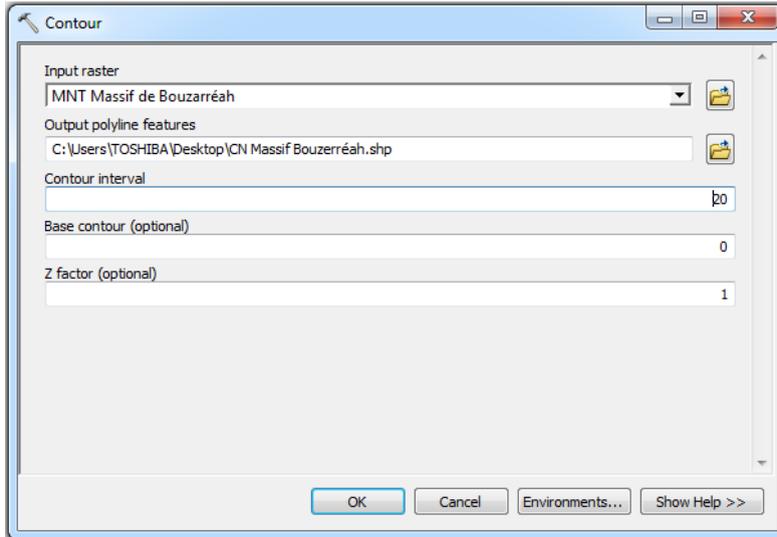
MNT du Massif de Bouzarréah

III.2.2. Quelques produits dérivés du MNT

III.2.2.1. Courbe de niveau

Afin, d'extraire les courbes de niveau à partir d'un MNT, on va suivre les étapes si-dessous :

ArcToolbox/ Spatial Analyst Tools/ Surface/ Contour. Dans la fenêtre Contour trois informations à renseigner : (1) le MNT à partir duquel on va extraire les courbes de niveau, (2) choisir l'emplacement du fichier de sortie, (3) la valeur de l'équidistance (dans notre cas on a met 20

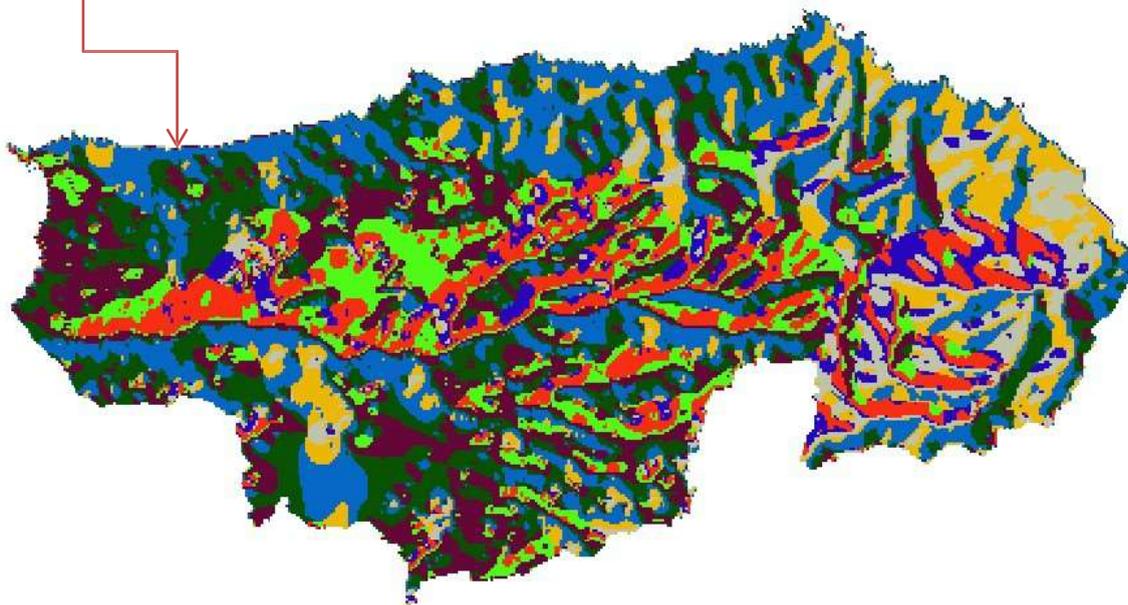
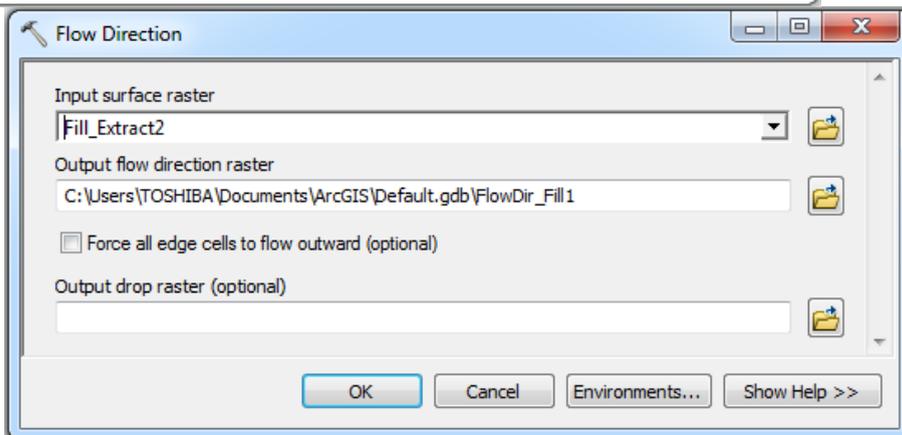
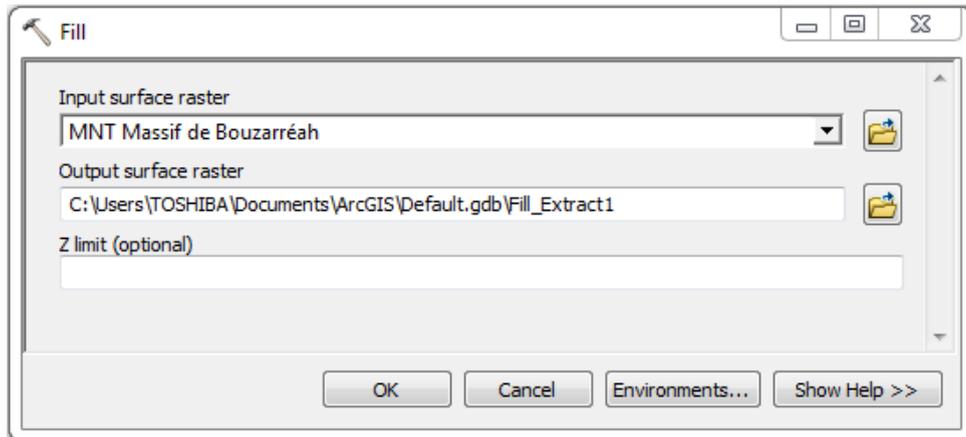


c.-à-d.on va extraire une courbe de niveau tous les 20 mètres)

III.2.2.2. Extraction réseau hydrographique

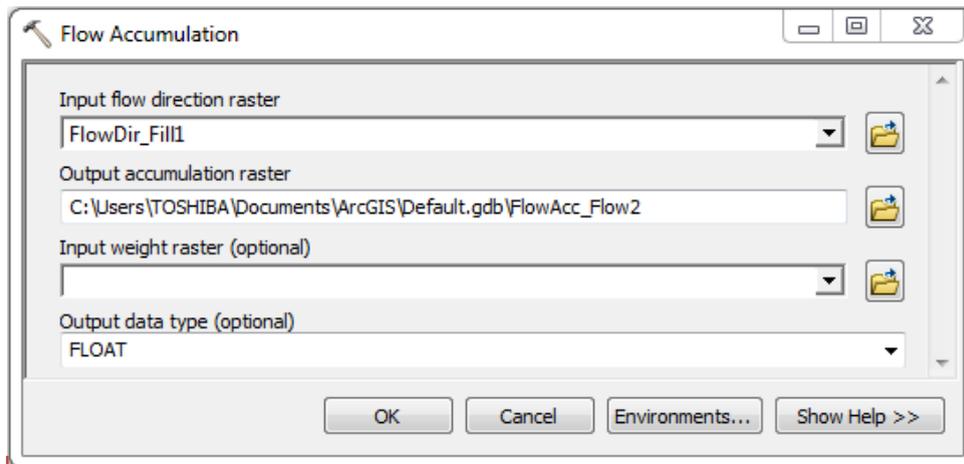
Pour extraire le réseau hydrographique à partir d'un MNT, certaines étapes sont à suivre :

- *Calculer le Fill* : cette première étape sert à corriger les petites imperfections dans le MNT. ArcToolbox/ Spatial Analyst Tools/ Hydrology/ Fill/ Ok. (1) le MNT à corriger, (2) l'emplacement du fichier de sortie.

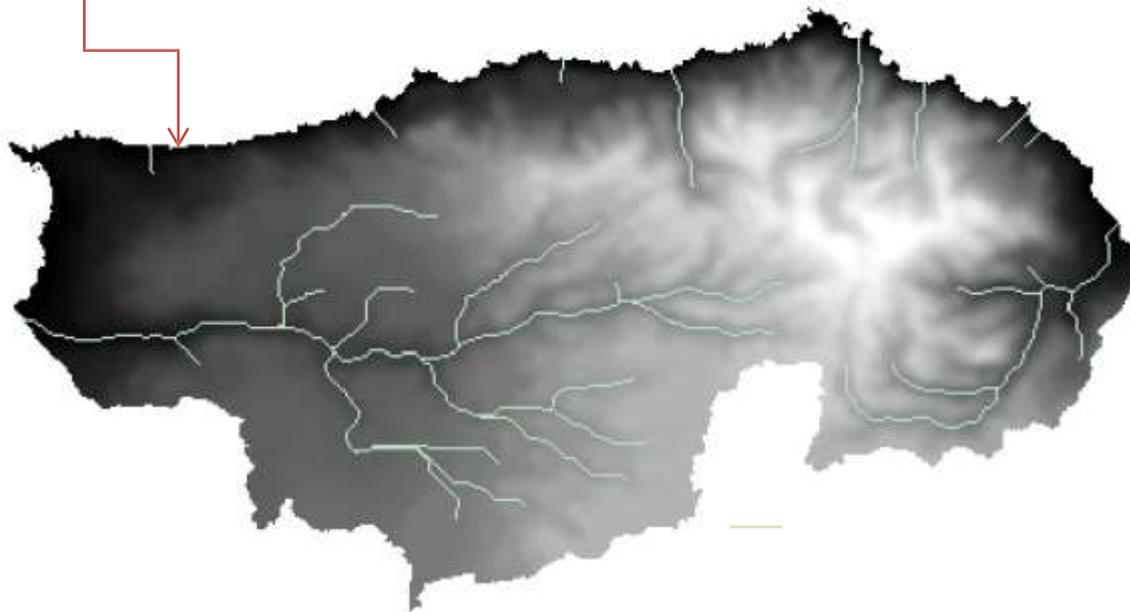
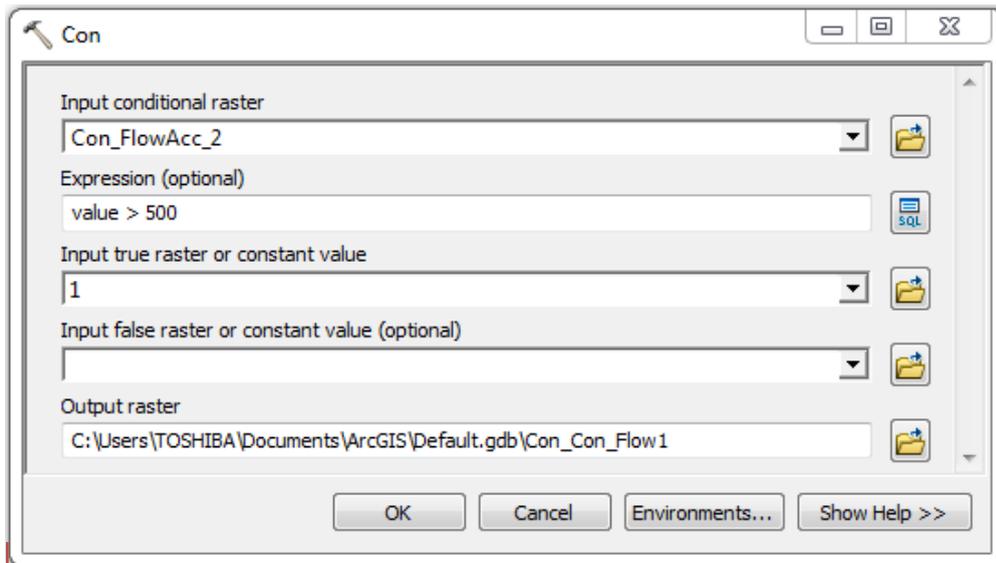


- *Retracer la direction des écoulements dans chaque cellule.* ArcToolbox/ Spatial Analyst Tools/ Hydrology/ Flow Direction. (1) enter le Fill calculé (le raster à partir du- quel les directions des eaux vont être retracées), (2) l'emplacement du fichier de sortie.
- *La création d'une trame de flux accumulé dans chaque cellule.* ArcToolbox/ Spatial Analyst Tools/ Hydrology/ Flow Accumulation. (1) le raster résultant du retrace-

des directions de flux, (2) l'emplacement du fichier de sortie.



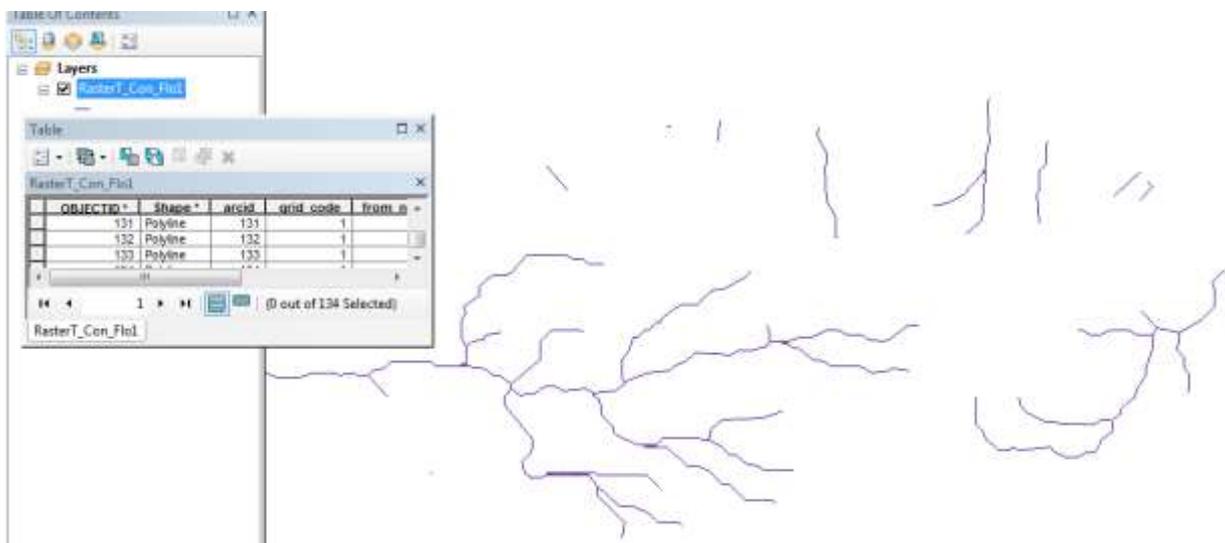
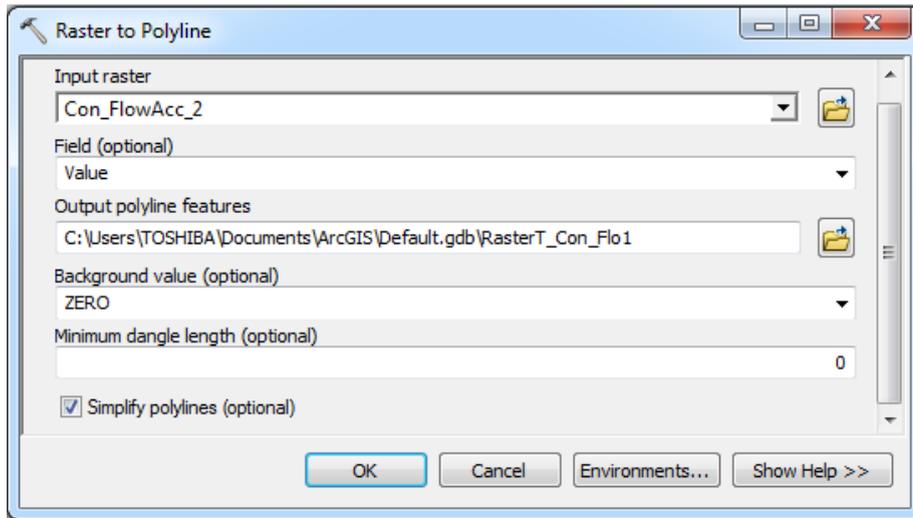
- Dernière étape, consiste à *conditionner la reproduction du réseau dans chaque cellule* (fixer une valeur d'entrée à partir du quelle les cellules vont être qualifiées de vraies ou fausses). ArcToolbox/ Spatial Analyst Tools/ Conditional/ Con. (1) le raster résultant du calcul des s'accumulation des flux, (2) conditionner la valeur d'entrée (ici il n'existe pas une règle bien fixe, l'utilisateur, et selon ses besoins, il est souvent amené à faire deux ou trois essais pour pouvoir obtenir le tracer du réseau rechercher), enter un nombre entier ou un point flottant, ou une valeur constante qui va être utilisé comme valeurs de sortie pour les cellules qui vérifiées la condition (vrai), (4) l'emplacement du fichier de sortie.



- *Réseau hydrographique sous en mode vecteur*

Pour réaliser des calculs tels le rapports de confluence, longueurs moyennes des drains et rapports de longueur, densité de drainage (km/km²); ... , on aura besoin du réseau sous format vecteur.

La conversion du réseau hydrographique du format raster au format vecteur, se fait comme suit : ArcToolbox/ Conversion Tools/ From Raster/ Raster to Polyline. (1) le raster du réseau hydrographique (Con), (2) l'emplacement du fichier de sortie.



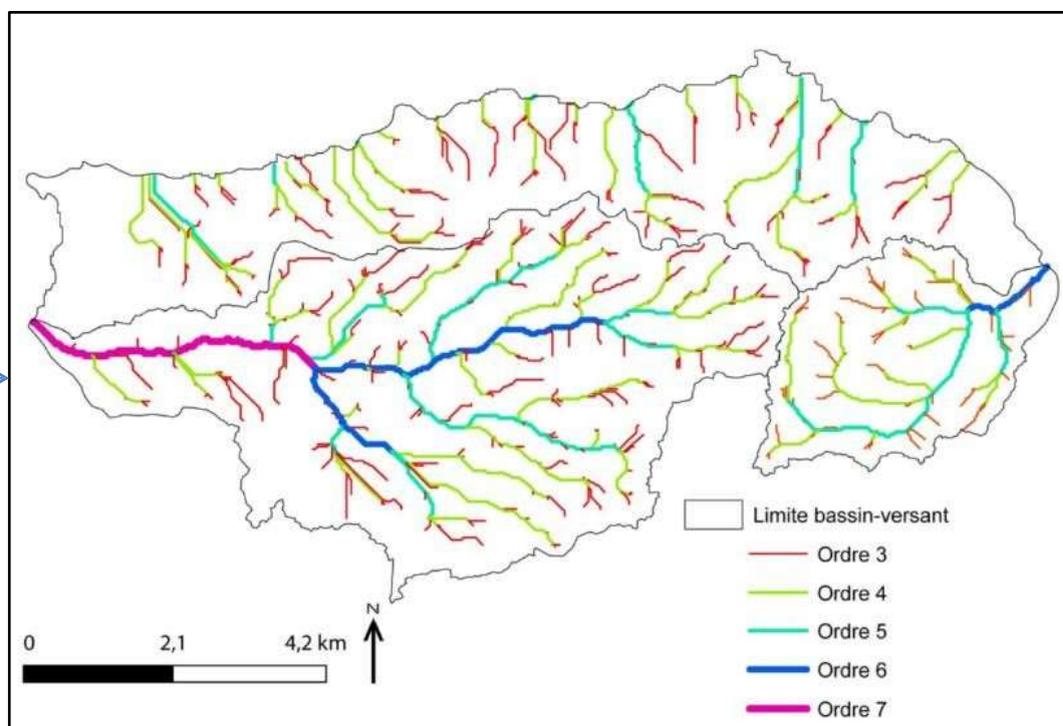
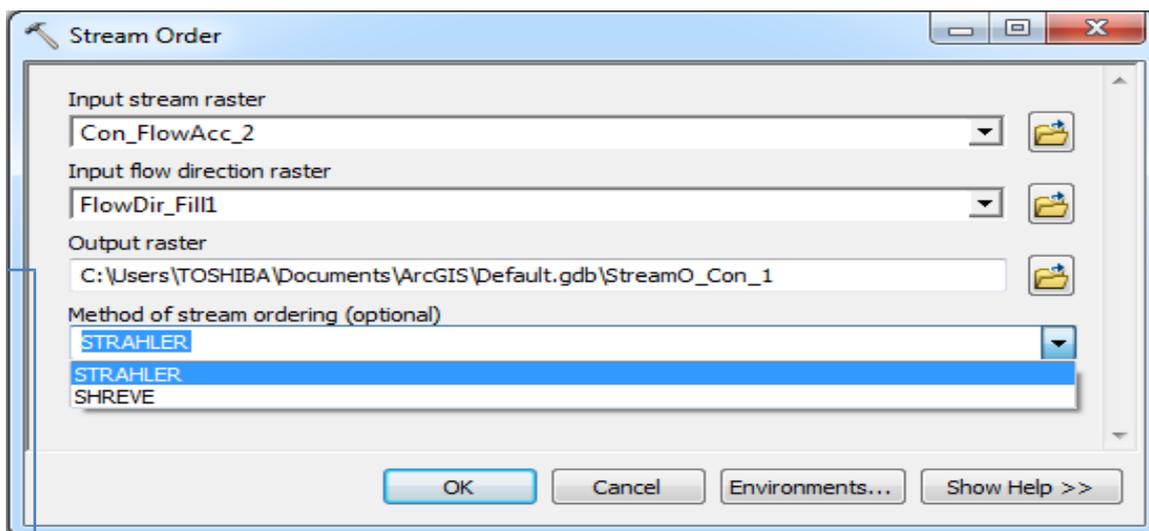
III.2.2.3. Hiérarchisation du réseau hydrographique

Il existe plusieurs méthodes d'hiérarchisation, dont les plus utilisées sont :

La méthode de Strahler (1957) propose de hiérarchiser le réseau hydrographique en attribuant le numéro 1 aux drains sans affluent ; deux drains d'ordre n s'agrègent pour former un drain d'ordre $n + 1$; lorsqu'il s'agit d'un drain en aval de deux confluences d'ordre différent, ce dernier prend le nombre du plus grand.

La méthode de Shreve (1966) assimile le réseau hydrographique à une arborescence formée de segments disposant d'une « magnitude » ; elle attribue une magnitude 1 aux premiers drains ; un drain résultant de la confluence de deux drains de magnitude n et aura une magnitude $n + n'$.

ArcToolbox/ Spatial Analyst Tools/ Hydrology/ Stream Order. (1) le raster du réseau hydrographique (Con), (2) le raster des directions du flux, (3) l'emplacement du fichier de sortie, (3) le choix de la méthode d'hiérarchisation.



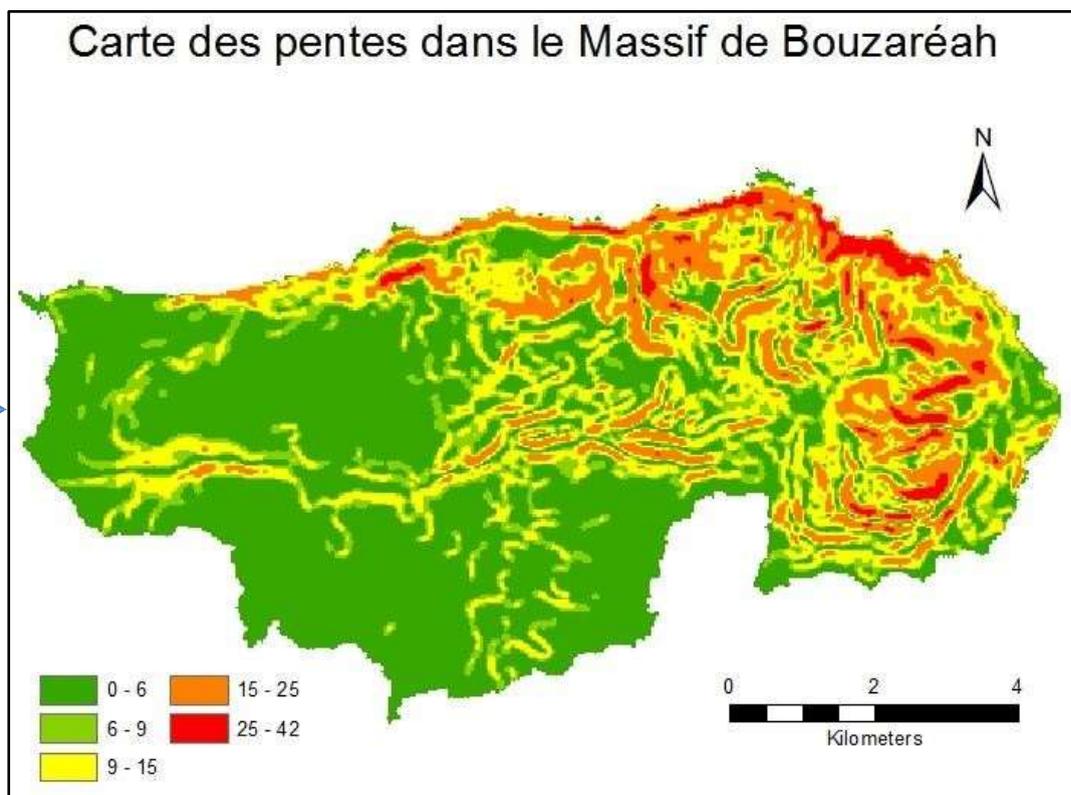
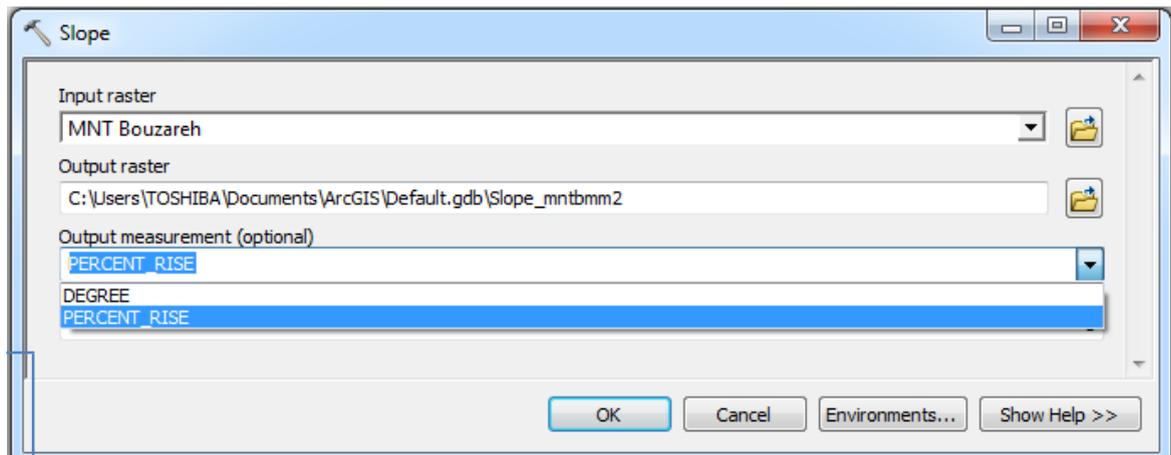
Hiérarchisation du réseau hydrographique selon les lois de Strahler.

III.2.2.4. Carte de pente

La pente correspond à l'inclinaison des surfaces topographiques. C'est un paramètre hydrologique très important, car elle contrôle la cinématique des écoulements (vitesse, puissance, temps de réponse) mais peut aussi être évaluée comme critère de comparaison des bassins versants.

Pour obtenir la carte de pente à partir d'un MNT, les étapes ci-dessous sont à suivre :

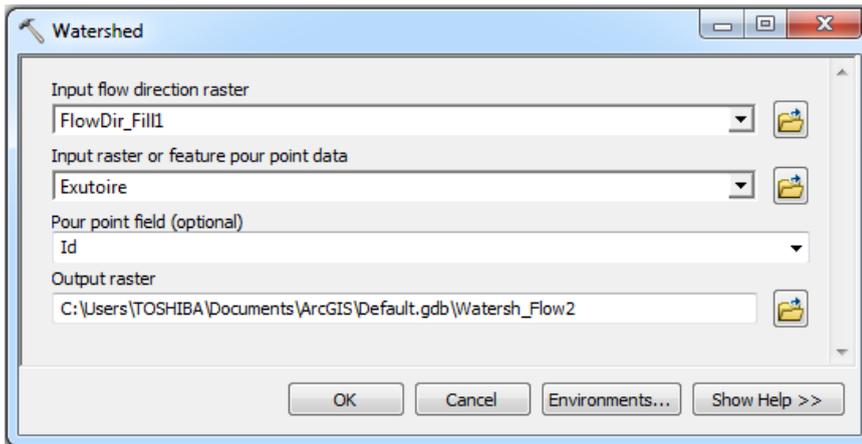
ArcToolbox/ Spatial Analyst Tools/ Surface/ Slope. (1) MNT, (2) l'emplacement du fichier de sortie, (3) l'unité de calculs de l'inclinaison de pentes (degrés, pourcentages).



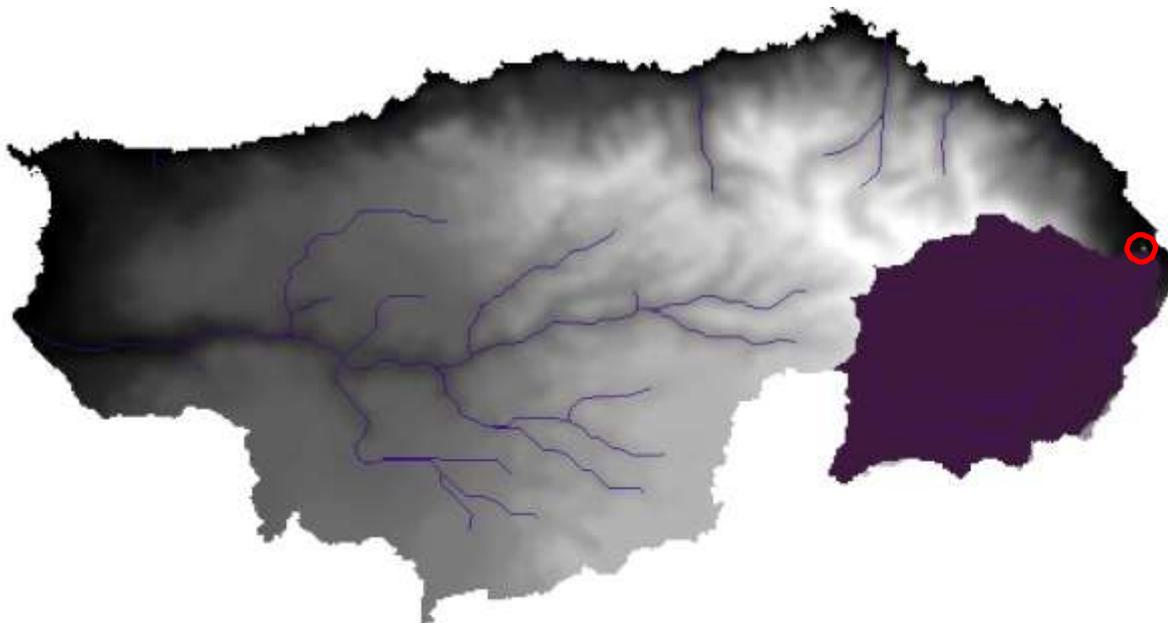
III.2.2.5. Délimitation des bassin-versant

A partir du réseau hydrographique on peut délimiter le (les) bassin-versant, en suivant les étapes ci-dessous :

- Créer une couche de forme de type point ;
 - Ajouter la couche dans l'ArcMap, et grâce à l'outil Editor, on édite un point dans cette dernière. Le point doit être placé à l'exutoire du bassin-versant (ou du sous-bassin versant) quand cherche à délimiter;
 - ArcToolbox/ Spatial Analyst Tools/ Hydrology/ Watershed . (1) le raster des directions du flux, (2) la couche de forme de type point dans laquelle on a dessiné un point de l'exutoire, (3) l'emplacement du fichier de sortie.



Délimitation de l'un des bassins versants du Massif de Bouzaréah



Pour passer du format raster du bassin-versant délimité par cette méthode, au format vecteur, les étapes sont presque les mêmes que celles suivies pour convertir le réseau hydrographique. ArcToolbox/ Conversion Tools/ From Raster/ Raster to Polygone.

Références bibliographiques

- Bailly A., et Béguin H., 1996. *Introduction à la géographie humaine*. Paris, Armand Colin, p 55.
- Burrough P.A., 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford, Oxford University Press, p 193.
- Cuq F., 2000. *Systèmes d'information géographique et gestion intégrée des zones côtières*. In Populus & Loubersac : Coastgis'99 : Geomatics and coastal environment, Ifremer/SHOM : 18-29.
- Dangermond J., 1981. Some trends in the evolution of GIS technology. *Kensington Workshop*. Marble, pp 25-57.
- Didier P., 1999. *Manuel de Cartographie*. Les Roche, France. Copyright Articque, 96p. disponible sur <http://www.uel.br/cce/geo/didatico/omar/manuel-cartographie.pdf>.+30002.
- DIME., 1970. *Technical description of the DIME System*. U.S. Bureau of Census : Census and study, the DIME Geocoding System, Report n° 4, Washington D.C, pp 25-30
- El Janyani S., 2015. Cours : Introduction aux S.I.G Systèmes d'Information Géographique. Université Pierre-et-Marie-Curie, UMR 7619.
- Franck A., 1981. Application of DBMS to Land information systems, *Proceeding VII International Conference on Very Large Data Bases*, Cannes, France, pp 448-453.
- Howard A.D., 1967. *Drainage analysis in geology interpretation : a summation*. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., Tulsa, n°51, 2246-2259.
- Joly F., 1976. *La cartographie*. Paris, PUF, 276 p
- Kennedy M., Kopp S., 2000. *Comprendre les projections*. Meudon, ESRI France, p 119.
- Menad W., 2012. *Risques de crue et de ruissellement superficiel en métropole méditerranéenne : cas de la partie ouest du Grand Alger*. Thèse de doctorat, Université Paris-Diderot, France, 309 p.
- Robert S et Autran J., 2012. Décrire à grande échelle l'occupation des sols urbains par photo-interprétation. Réflexion méthodologique et expérimentation en Provence. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*. Toulouse, France, Presses Universitaires du Mirail, 33, pp.11-24.
- Worboys M. F., 1995. *Geographic Information Systems: A Computing Perspective*, Taylor & Francis, London, 376p.