

INTEGRATION DU SIG ET DE L'ANALYSE HIERARCHIQUE MULTICRITERE POUR L'AIDE DANS LA PLANIFICATION URBAINE : ETUDE DE CAS DE LA PROVINCE DE KHEMISSSET, MAROC

*Sidi Mohamed El Amraoui¹, Mohamed Rouchdi²,
Mourad Bouziani³, Abdelwahed El Idrissi⁴,*

RESUME

Le présent travail s'inscrit dans une démarche de réflexion qui vise à enrichir la compréhension du processus de programmation des ressources foncières pour les besoins de l'urbanisation. Il a pour objectif la présentation d'un modèle, basé sur une utilisation combinée de la méthode de l'analyse hiérarchique multicritères (AHP) et des systèmes d'information géographiques (SIG). Le processus adopté a montré sa pertinence pour interpréter les problèmes spatiaux complexes. La détermination des critères associés aux objectifs escomptés et la cartographie des données attributaires et géographiques à l'échelle de la province de Khémisset ont permis d'hierarchiser les indicateurs identifiés, d'évaluer quantitativement le phénomène et de comparer les différents scénarios d'aménagement des zones objet du périmètre d'étude. Cette quantification est obtenue par simulation spatialisée à travers le croisement des données et l'agrégation multicritère suivant la méthode AHP et l'approche de la somme pondérée (WSM) pour modéliser de façon participative les facteurs selon leur poids respectifs. Le processus adopté a offert aussi la possibilité de représenter sur des atlas l'utilisation du sol propice pour l'urbanisation et d'assister les spécialistes sur le choix de la destination et la vocation urbanistique des terrains : zones à ouvrir pour l'urbanisation, à préserver ou à sauvegarder.

Mots clés: Planification; urbaine; multicritère; SIG; AHP.

INTEGRACIÓN DE LOS SIG Y DEL ANÁLISIS JERÁRQUICO MULTICRITERIO PARA LOS ESTUDIOS DE PLANIFICACION URBANÍSTICA : CASO DE LA PROVINCIA DE KHEMISSSET, MARRUECOS

RESUMEN

Mejorar el conocimiento del proceso de programación de los recursos de tierra por el uso de la urbanización es el objeto de este trabajo. Esto a través de la presentación de un modelo basado sobre la utilización combinada del análisis jerárquico multicriterio (AHP) en un lado, y de otro lado de las sistemas de información geográfica (GIS). La metodología elegida ha mostrado su pertenencia en la resolución de los problemas espaciales complejos. La determinación de los criterios relacionados con el objetivo y la distribución de los atributos y los datos geográficos a nivel de la provincia de Khémisset ha permitido, en primer lugar, a priorizar los indicadores, en segundo lugar, a evaluar el fenómeno, y tercero, a comparar diferentes escenarios de gestión del área del estudio. Esta cuantificación es el resultado de la intersección de los datos y la agregación multicriterio según el método AHP y el enfoque de la suma ponderada (WSM) modelando de manera participativa los factores dependientemente de sus pesos. El proceso adoptado ha ofrecido también la posibilidad de presentar en forma de Atlas la ocupación del sol destinado a la urbanización y ayudar a los especialistas a elegir la vocación urbanística de los espacios, abrirlos para la urbanización, preservarlos o conservarlos.

Palabras clave: Planificación; urbanismo; multicriterio; GIS; AHP.

¹ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Maroc. Email: smed.elamraoui@gmail.com

² Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Maroc. Email: mhrouchdi@yahoo.com

³ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Maroc. Email: bouzianimourad@yahoo.fr

⁴ Institut National d'Aménagement de Territoire, Maroc. Email: a.recherche@gmail.com

1. INTRODUCTION

L'émergence d'une volonté de planification urbaine intégrée du territoire marocain, est à l'origine de nouvelles exigences de rationalisation des ressources foncières et de survalorisation économique de positions urbaines et rurales de l'agglomération, à l'effet de répondre aux enjeux économiques et sociaux et aux défis environnementaux. Cette volonté constitue actuellement une question stratégique de gouvernance locale et nationale, de même, elle demeure une priorité qui conduit également à une véritable occasion d'investissement et de création de richesses. Or la prise en compte du concept de développement durable requiert une analyse multidimensionnelle du projet de mobilisation et de gestion des terrains pour les besoins de l'urbanisation.

Le fondement juridique et technique du droit de l'urbanisme au Maroc remonte au début du XXe siècle après l'installation du protectorat au Maroc en 1912. C'est un droit inspiré de la législation française qui a évolué au rythme d'une urbanisation rapide très fortement marquée par l'explosion démographique et la croissance urbaine. C'est un droit évolutif mais en déphasage par rapport aux dimensions multiples de la croissance urbaine due à un accroissement démographique élevé et à un afflux massif de ruraux.

Le processus d'urbanisation accélérée, déclenché dès le début des années 60, ne cesse de prendre de l'ampleur avec le temps, et la rupture des équilibres traditionnels est assurément à l'origine d'un vaste mouvement de restructuration spatiale. Cependant, la rationalisation des ressources imposent une nouvelle approche de planification urbaine et de gestion des villes.

Dans cette optique, un ensemble d'outils ont été adoptés visant la gouvernance du paysage urbain et l'orientation de l'urbanisme marocain. Une place importante a été accordée aux documents de la planification urbaine, qui s'est avérée une politique efficace de définition et de transformation des modes d'utilisation des sols et une arme incontournable pour apprivoiser les terrains, les structurer et en dessiner les formes susceptibles de répondre aux objectifs tracés notamment en matière d'investissement, habitat, équipement et infrastructure.

Néanmoins, la pratique de la planification urbaine par le biais des documents d'urbanisme érigés en tant que dispositifs de définition de l'utilisation des sols souffre encore de beaucoup d'insuffisances pratiques (CHTOUKI, 2011) qu'il conviendrait de traiter par l'adoption de nouveaux dispositifs adéquats basés sur l'utilisation d'outil d'aide à la prise de décision qui permet de fournir l'information, croiser les critères d'évaluation et de faire un choix parmi plusieurs propositions.

D'après (ROY, 1985) l'aide à la décision, sollicitée par les différents acteurs participant dans le processus, doit contribuer à répondre, souvent indirectement, à cette préoccupation finale. Elle peut être définie comme étant l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision. Cette définition confirme le fait que l'aide à la décision n'aide pas, nécessairement, à répondre directement à la préoccupation finale mais peut se limiter à certaines questions traduisant les préoccupations de certains intervenants. Cependant, nous pensons qu'il est important de s'assurer, en répondant à ces préoccupations, que nous apportons aussi des éléments de réponses à la préoccupation finale et que l'aide à la décision soit cohérente avec l'évolution de cette préoccupation (MAMMERI, 2013).

Alors, afin de mieux gérer la programmation des ressources foncières pour les besoins de la planification urbaine, l'Etat a opté dans un premier temps pour une politique interventionniste et volontariste, à travers la création des agences urbaines et la couverture des provinces par des documents d'urbanisme pour gérer et maîtriser l'utilisation du sol dans le périmètre urbain. Cependant, le choix inapproprié des zones doublé d'une mauvaise politique de sensibilisation n'ont pas encouragé l'urbanisation réglementée et particulièrement dans la province de Khémisset. Bien que, il est important que tous les paramètres intervenants dans ce type de programme soient pris en compte pour des implications effectives durables (CONCHITA, 2010).

Aussi, pour optimiser les budgets alloués pour la réalisation des infrastructures et l'aménagement des sites. Il apparaît opportun d'utiliser une approche pluridisciplinaire qui

permet de proposer un outil pour la classification des zones potentielles à l'urbanisation. Il s'agira de rechercher pour cette province, les prédispositions foncières, topographiques et urbanistiques qui caractérisent les sites adéquats. Le Système d'Information Géographique (SIG) et l'analyse multicritère (AMC) s'avèrent particulièrement utile pour l'identification des sites propices à l'urbanisation. En général, l'analyse de la pertinence de tels outils vise à identifier le modèle le plus approprié pour l'utilisation future des terrains en fonction des exigences spécifiques, les préférences ou les prévisions d'une activité particulière (COLLINS *et al.*, 2001). On converge alors vers la modélisation systémique, qui constitue, selon THERIAULT et CLARAMUNT (1999), le domaine d'application par excellence de l'analyse spatiale et des systèmes d'information géographique (SIG). L'intégration des SIG et des méthodes d'analyse multicritère constitue une voie privilégiée et incontournable pour faire évoluer les SIG vers de véritables systèmes d'aide à la décision (JOERIN, 1997 ; LAARIBI, 2000; MALCZEWSKI, 2004, CHAKHAR, 2006). Cette approche a déjà été appliquée par plusieurs auteurs pour le choix d'un site donné (EASTMAN *et al.*, 1993 ; LILI CHABAANE *et al.*, 2002 ; RECATALA et ZINCK, 2008 ; PELIZARRO *et al.*, 2009 ; CONCHITA, 2010 ; ARCINIEGAS *et al.*, 2011 ; FEIZIZADEH et BLASCHKE, 2012). L'objectif de cette étude est d'élaborer une démarche pour la classification des zones propices à l'urbanisation à partir de l'analyse multicritère et d'un système d'information géographique (SIG) afin d'orienter les décideurs dans l'utilisation et la valorisation du foncier en vue d'une meilleure gestion des programmes et des politiques de planification urbaine et d'un développement durable de la province.

2. CONTEXTE, PROBLEMATIQUE ET CONTRIBUTION

Les problèmes territoriaux sont à caractère spatial de nature multidimensionnelle, interdisciplinaire et mal définis nécessitant la définition de plusieurs critères conflictuels dont l'importance n'est pas la même, et manipulant une quantité considérable de données quantitatives et/ou qualitatives (HAMDADOU ET BOUAMRANE, 2007). L'étude bibliographique approfondie dans le domaine de l'urbanisme révèle que peu d'approches se basant sur des procédés d'analyse des modes d'utilisation du sol en relation avec le régime de protection de la propriété, le statut foncier, ainsi que les caractéristiques physiques du bien immobilier et utilisant la méthode AHP pour structurer les composantes et évaluer tous les critères du problème en fonction de leurs poids. C'est ce constat qui nous a amené à envisager d'examiner l'apport de la modélisation multicritère dans la planification de l'espace urbain, en prospectant les démarches envisageables pour répondre aux problématiques et enjeux spécifiques de la planification du territoire et de la gestion urbaine.

La problématique liée à la priorisation de l'utilisation des ressources foncières pour les besoins de la planification urbaine implique plusieurs intervenants dont chacun détient une perception différente de l'espace selon ses objectifs et ses préoccupations. Aussi, elle nécessite la considération de certains critères hétérogènes pour permettre de concevoir, justifier et traduire les préférences des décideurs. La résolution de ce problème consiste alors à trouver une décision commune à tous les décideurs (LAARIBI, *et al.*, 1996).

En outre, adopter l'optique multicritère, en matière de décision, c'est avant tout prendre ses distances vis-à-vis de l'optimisation. C'est aussi quitter la recherche opérationnelle classique pour rejoindre l'aide à la décision. C'est encore abandonner les méthodes « dures » pour des méthodes plus « douces ». (BRANS et MARESHAL, 2002).

Les problèmes de ce type sont qualifiés de problèmes mathématiquement mal posés ; car ne possédant que rarement de solution optimale et objective sur tous les critères à la fois ; et les outils prenant en compte la présence de critères multiples sont particulièrement adaptés pour aider un gestionnaire dans ses choix. Plutôt que de parler d'optimisation, on dira que ces outils jouent un rôle d'aide à la décision multicritère. Comme il n'existe pas ou alors rarement de solution optimale, il faudra souvent faire un compromis sur ce que l'on peut faire et sur ce que l'on veut faire. Il y a donc des critères à déterminer, certains étant plus prépondérants que d'autres et ce, à partir des préférences du décideur dont chaque solution dépend (VINCKE,

1989).

Ces perspectives, nous ont incité à proposer une modélisation multicritère réunissant les fonctionnalités offertes par les SIG et la méthode d'analyse hiérarchique pour appréhender le mécanisme de programmation des ressources foncières pour une exploitation mesurée et rationnelle de cette matière première indispensable à la mise en œuvre des politiques publiques en matière d'urbanisme.

Les objectifs escomptés de ce travail est d'explorer les outils susceptibles d'apporter une aide pertinente pour la prise de décision et assister le gestionnaire dans la classification des terrains destinés pour la planification urbaine par l'établissement d'un ordre de priorité d'aménagement urbain parmi les différentes zones de la province.

L'analyse multicritère fournit aux décideurs des outils permettant de résoudre des problèmes décisionnels complexes où plusieurs critères doivent être pris en compte dans le choix d'options (SALOMON, 2001). Ainsi, nous nous sommes intéressés plus particulièrement à l'analyse hiérarchique multicritère, qui consiste à classer les sites potentiels à l'urbanisation sur la base d'un indicateur unique ou de différents indicateurs appréhendés dans leur pluralité, le tout en vue de ressortir l'alternative qui s'approche le plus des objectifs recherchés et de la réalité terrain. Cette démarche nécessite tout d'abord de cibler les acteurs principaux, puis de délimiter les alternatives d'un projet, d'établir les critères et leur pondération correspondante. Ensuite, il faut évaluer chaque critère pour chaque alternative et l'ensemble des résultats est inscrit dans des cartes décisionnelles alternatives/critères. Cette matrice sera interprétée en vue d'obtenir un classement des différentes alternatives et de distinguer celle qui satisfait au mieux les exigences requises.

Dans tout problème multicritère, on considère un ensemble de critères nommé famille de critères $F_c = \{C_1, \dots, C_i, \dots, C_n\}$ où n est le nombre de critères. Pour que la famille F_c constitue une représentation appropriée des points de vue à prendre en compte dans la modélisation des préférences, elle doit être cohérente en respectant les trois conditions suivantes :

- Exhaustivité : une famille F_c de n critères est dite exhaustive si elle recouvre tous les aspects concourants à l'évaluation des actions (ROY, 1985 et HENRIET, 2000). Autrement dit, si deux actions a et b sont indifférentes au sens des n critères, il ne doit pas être possible de faire apparaître des arguments permettant de préférer a à b ou b à a . Certes, la famille de critères doit représenter toutes les aspects du problème, faute de quoi on risque de ne considérer qu'un aspect du problème comme dans la démarche monocritère. Pire, en ne considérant que quelques critères bien choisis, on pourrait faire dire par la méthode absolument tout ce que l'on veut.

- Cohésion : cette condition vise à cerner le minimum de cohésion entre le rôle d'un critère au niveau des préférences restreintes à son axe de signification et son rôle dévolu une fois immergé dans F_c au niveau des préférences globales (ROY et BOUYSSOU, 1993). Soient deux actions a et b indifférentes, si l'on dégrade une performance de a sur un critère pour obtenir l'action a' et que l'on améliore une performance de b sur un autre critère pour obtenir l'action b' alors la condition de cohésion implique que b' est au moins aussi bonne que a' globalement.

- Non redondance : cette condition consiste à interdire dans F_c la présence de critères superflus (ROY et BOUYSSOU, 1993). Il faut dans la mesure du possible, représenter toutes les facettes de la problématique tout en évitant les redondances. Formellement, un critère g_i sera dit non redondant au sein d'une famille F_c si et seulement si sa suppression implique que la famille $F_c \setminus \{g_i\}$ met en défaut une des deux conditions de cohésion ou d'exhaustivité.

On distingue une panoplie de méthodes basées sur l'analyse multicritère. La diversité de ces méthodes réside dans la façon d'effectuer la synthèse de l'information (BEN MENA, 2000). Ces méthodes ont pour point commun de pouvoir classer, par ordre de préférence pour un décideur, plusieurs options, et ce à partir de plusieurs critères. Ces derniers sont principalement classés trois grandes approches opérationnelles (ROY et BOUYSSOU, 1993) : approche du critère unique de synthèse, approche de surclassement de synthèse et l'approche du jugement local interactif.

Les deux premières familles contribuent à la construction d'une préférence globale qui introduit le concept de procédure d'agrégation multicritère permettant d'agréger les performances d'une action par rapport à un ensemble de critères donnés (FUMEY, 2001). Pour mener l'évaluation des risques projet, nous avons choisi l'approche du critère unique de

synthèse qui vise à construire une fonction synthétisant tous les critères moyennant la méthode Analytic Hierarchy Process (AHP) et Weighted Sum Model (WSM). La sélection de cette méthode AHP est dû principalement à sa simplicité, sa facilité de compréhension pour résoudre un large éventail de problèmes non structurés, sa flexibilité ainsi que sa capacité à rapprocher les critères quantitatifs et qualitatifs dans le même cadre décisionnel. Elle sera complétée par la méthode WSM pour la définition des formules de calcul des notions de l'impact agrégé et de la criticité pondérée.

Dans cette optique la mise en place d'une démarche sur la stratégie de gestion du patrimoine foncier pour les besoins d'urbanisation utilisant les fonctionnalités des systèmes d'information géographique et les outils de l'analyse multicritère en particulier l'approche d'analyse hiérarchique (AHP) va offrir la possibilité d'apprécier l'état des changements dans différentes entités territoriales de la zone d'étude. Les données ainsi traitées et les résultats obtenus vont constituer les éléments principaux de décision pour une optimisation des ressources foncières et une meilleure gestion des programmes et des politiques de planification urbaine afin d'assurer un développement équilibré et durable des territoires.

3. APPROCHE METHODOLOGIQUE

3.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone de travail choisie pour mettre en œuvre notre travail d'étude est celle de la province de Khémisset au Maroc, située entre les latitudes 33,12 ° et 34,17 ° nord et entre les longitudes 5, 67° et 6,84° ouest. Elle est subdivisée en quatre cercles (Khémisset, Oulmès, Rommani et Tiflet), quatre municipalités et 31 communes rurales et s'étend sur une superficie de 8 305 km² (figure 1). Elle fait partie de la région de Rabat-Salé-Kenitra, située au centre d'une riche région agricole, elle s'affirme comme une agglomération stratégique de cette région proche de Rabat, capitale administrative (80 Km), Casablanca, capitale économique (180 Km) et Fès, capitale culturelle (120 Km). Elle s'étend sur une superficie de 8 305 km². Elle est limitée au Nord par la province de Kénitra, au Sud par les provinces de Khouribga et Khénifra, à l'Est par la Wilaya de Méknès et à l'ouest par la Wilaya de Rabat-Salé.

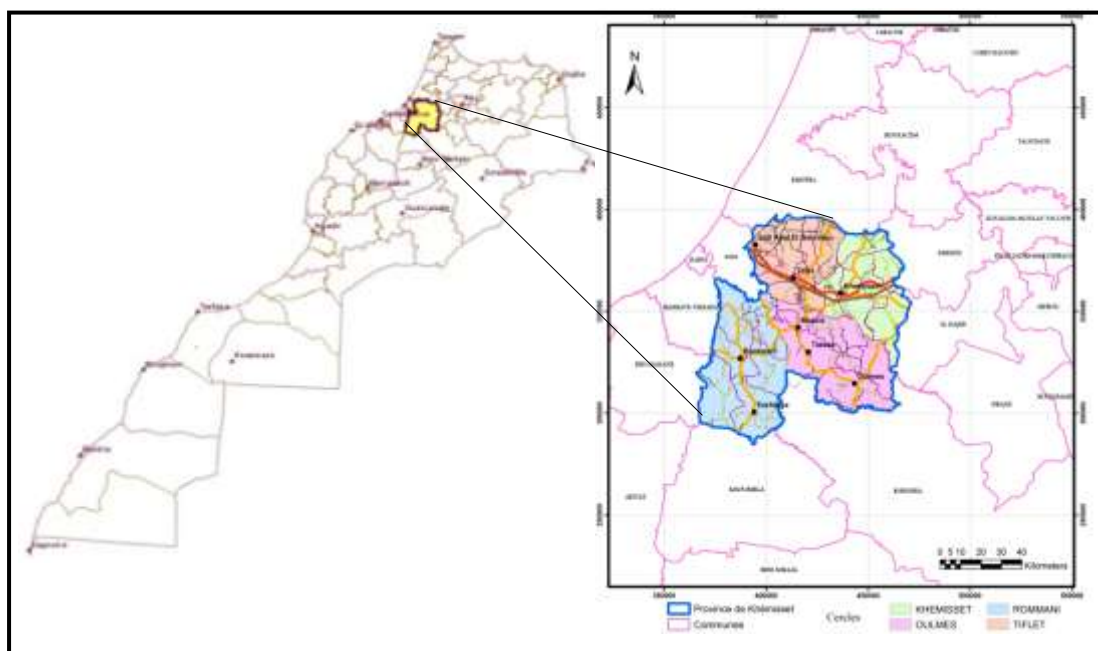
En 2014, la province comptait près de 542 221 habitants (RGPH, 2014) contre 521 815 habitants en 2004; soit un poids démographique de l'ordre de 12 % par rapport à la population régionale et près de 1,6 % de la population nationale.

Durant la période intercensitaire 2004-2014, le taux d'accroissement annuel moyen de de la province était de l'ordre de 1,2%, ce taux était de 2,4% pour le milieu urbain et de -2%, un taux négatif pour le milieu rural. Avec un taux d'accroissement annuel moyen urbain de 2,2%, la province fait partie des espaces urbains très dynamiques, dont le taux d'accroissement annuel moyen est supérieur à celui de l'urbain national (2,1%).

Cette évolution de l'urbain de la province est le résultat de la croissance considérable enregistrée au niveau des quatre municipalités de cette zone, par l'effet de la croissance naturelle, de la migration et de l'émancipation des espaces ruraux au stade de l'urbain. Le taux d'urbanisation est passé de 63,4 % en 2004 à 72% en 2014, et que malgré sa croissance importante la province reste fortement dominée par le cachet rural.

L'économie provinciale est largement marquée par la primauté de l'activité agricole. La Surface Agricole Utile (SAU) dans la province couvre plus de 401.850 ha. Elle est répartie en 397.850 ha Bour, 4.00 ha irrigués et 54.000 ha parcours et incultes. Quant au secteur secondaire, il occupe la seconde position derrière le secteur primaire en mobilisant plus de 13,5% de la population active locale.

FIGURE 1
Situation de la zone d'étude au Maroc



Source : Elaboration propre

La province est également, à la rencontre d'un réseau de circulation et de transport à grande capacité de flux. Elle est desservie par un réseau routier, autoroutier et ferroviaire relativement dense. C'est ainsi que, elle est reliée aux provinces du Nord par la RN n° 1 et l'autoroute n° A1 et également aux provinces de l'est par la route n° 6 et l'autoroute n° A2. Le réseau ferroviaire assure également des liaisons de qualité en passant par la capitale de la région en direction du sud à travers Marrakech, en direction du nord via Kénitra et en direction de l'Oriental via Fès.

3.2 MATÉRIEL ET DONNÉES UTILISÉS

Le matériel est constitué de données et de logiciels. La démarche appliquée dans cette étude nécessite l'intégration de données spatiales, des restitutions, des cartes topographiques au 1/50000, des images satellitaires et des données alphanumériques relatives au foncier, à la topographie, à la démographie et à l'occupation du sol. La collecte de ces données a permis la mise en place d'une Base des Données à Référence Spatiale (BDRS). Les logiciels QGIS, AutoCAD, Global Mapper et Google Earth ont été utilisés pour le traitement des données et la mise en place d'un système d'information géographique de l'aire d'étude. La figure 2 ci-après expose les données exploitées ainsi que les traitements effectués pour extraire les informations essentielles à l'analyse multicritère.

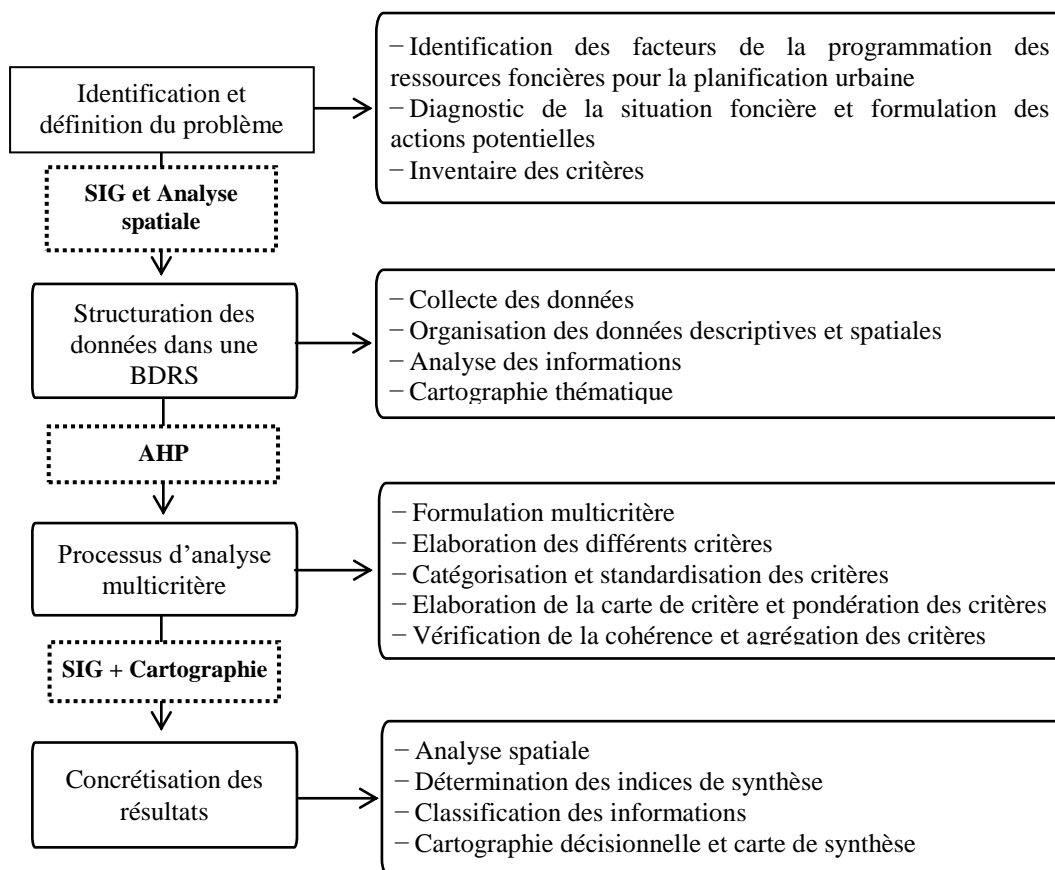
3.3 APPLICATION DE L'ANALYSE HIERARCHIQUE MULTICRITERE POUR L'AIDE A LA PLANIFICATION URBAINE

La méthodologie adoptée afin de mettre en exergue l'utilisation des ressources foncières pour la planification urbaine constitue une conduite assurée vers de véritables systèmes d'aide à la décision. Elle exploite les fonctionnalités offertes par les SIG pour la structuration des données, le croisement des couches d'information et l'analyse spatiale des différentes thématiques. Elle inclue aussi l'approche d'analyse hiérarchique multicritère AHP qui permet d'assembler une multitude de critères de décision dans un seul modèle, de faire l'évaluation comparée de chaque paire de critères et de calculer le leurs poids pour l'appréciation comparée de chaque paire d'options en regard de chaque sous-critère.

Afin d'élaborer la carte de synthèse de l'utilisation du sol propice à l'urbanisation, nous avons choisi la méthode AHP développée par (SAATY, 1980). La méthode avait fait ses preuves et était utilisée avec succès dans plusieurs domaines, par exemple dans l'application à l'étude de la transformation potentielle de l'utilisation du sol (FIGUEIREDO, 2001) ou dans l'aménagement de la plaine alluviale de la Rivière Saint-Charles au Québec (MARTIN *et al.*, 2003) ou dans le choix d'une parcelle pour la construction de nouvelles habitations (MARINONI, 2005).

Le processus suivi pour répondre aux exigences de la mobilisation du foncier pour la planification urbaine est mis en œuvre suivant les grandes étapes suivantes : identification et définition du problème, représentation et modélisation des données à référence spatiale, analyse hiérarchique multicritère, agrégation des critères et présentation des résultats sous forme de cartes décisionnelles. Le schéma présenté en figure 2 illustre la démarche qui nous a permis d'identifier les zones potentielles à l'urbanisation dans la province de Khémisset.

FIGURE 2
Processus d'intégration des SIG et AHP pour l'aide à la décision spatiale



Source: Elaboration propre en suivant le processus de prise de décision avec le processus hiérarchique analytique de SAATY 1980

3.3.1 Représentation et modélisation des données à référence spatiale

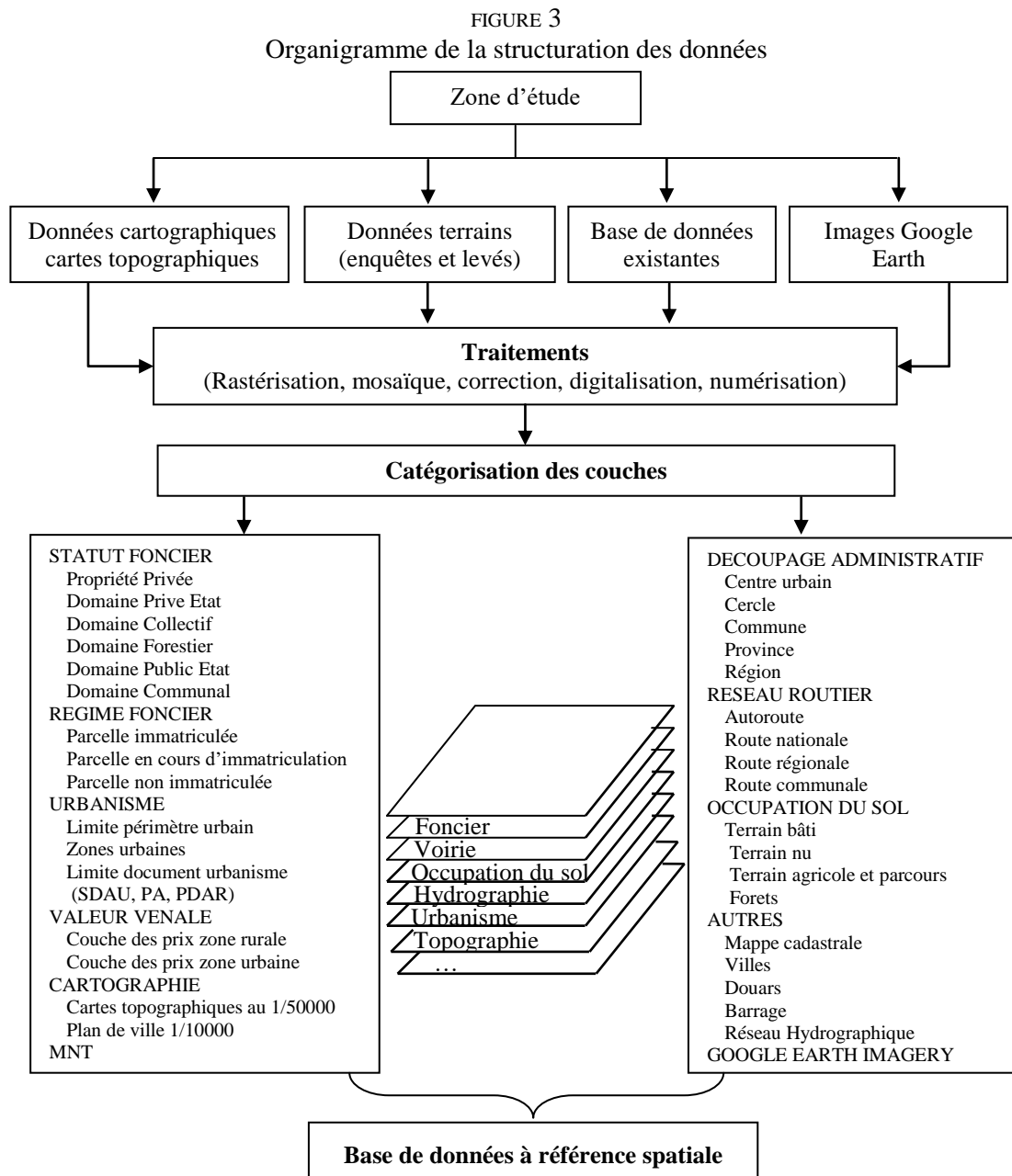
La couche foncière regroupe les données relatives au statut foncier, régime de protection des terrains, superficie des parcelles et valeur vénale des zones. Cette information est primordiale pour évaluer le processus de mobilisation des terrains.

Le relief constitue la deuxième couche spatiale nécessaire pour comprendre l'événement de l'utilisation du sol. Alors, les cartes de pentes et d'exposition ont été générées à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) acquis à partir de données ASTER DEM ayant une résolution de 30m.

Utilisation du sol : La carte d'affectation urbanistique est susceptible d'éclairer toute prise de décision d'aménagement et de dresser les grandes orientations en matière de développement régional. Les différentes couches d'occupation du sol ont été élaborées en numérisant les différents documents d'aménagement urbain (plan d'aménagement, plan de développement, périmètre urbain,...), les plans de villes, les cartes topographiques, les images de Google Earth et en intégrant des données provenant des bases de données déjà existantes du Ministère de l'agriculture et du haut-commissariat au plan.

La carte de distribution spatiale de la densité de population a été élaborée, en prenant en compte la superficie et la population des différentes communes à partir des données démographiques publiées par le haut-commissariat au plan.

La figure 3 ci-dessous montre l'organigramme de structuration des données collectées afin de constituer une base de données à référence spatiale de la zone objet d'étude.



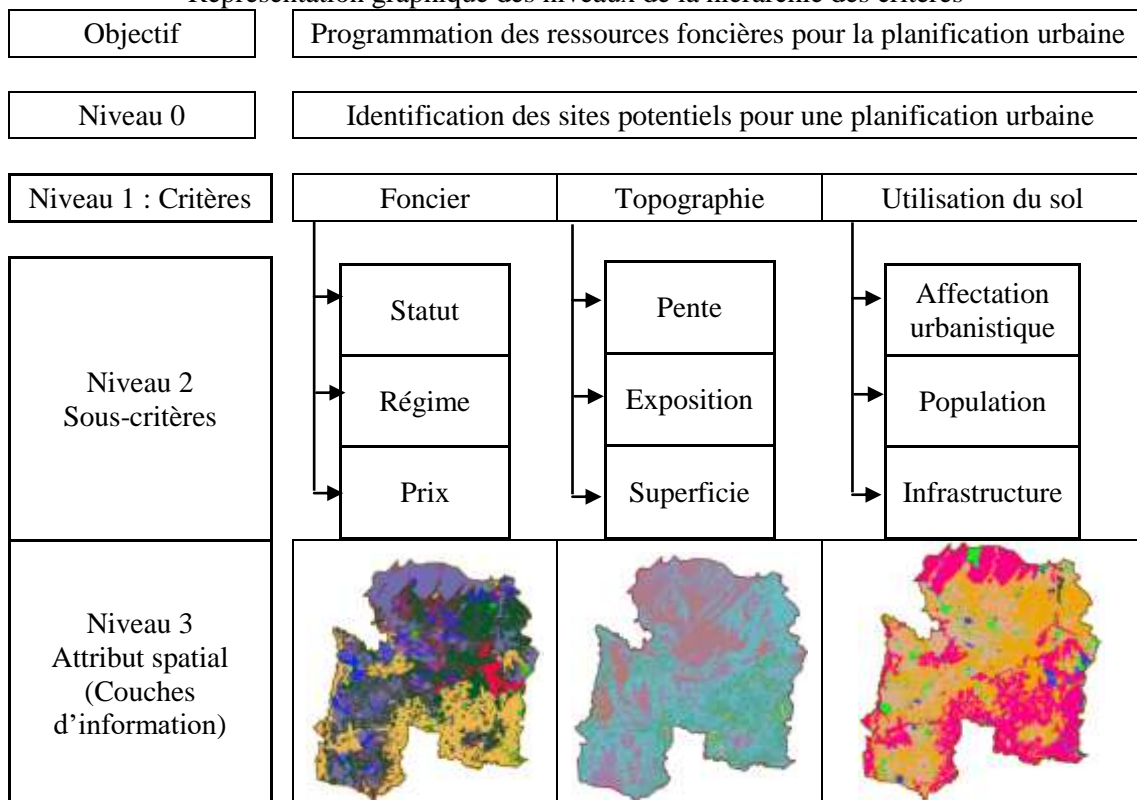
Source : Elaboration propre

3.3.2 Formulation hiérarchique multicritère et élaboration des différents critères

Les méthodes de type AHP reposent sur une décomposition d'un système complexe en une structure hiérarchique où chaque niveau est composé d'indicateurs spécifiques (élémentaires et agrégés). Cette hiérarchisation permet de mettre en évidence les indicateurs qui auront le plus d'impact dans la décision finale (LE GALL, 2009).

Le choix des critères découle d'un travail réalisé au sein de trois comités d'experts dans chacun des domaines (foncier et urbanisme). Les critères qui ont été reconnus comme représentant des caractéristiques jugées essentielles dans la compréhension du processus d'utilisation du sol pour les besoins d'urbanisation ont été intégrés dans l'analyse. Le résultat obtenu est une classification de l'ensemble des attributs ou critères sélectionnés suivant une structure hiérarchique, qui permet par la suite d'appliquer la méthode AHP. La décomposition du problème de décision en une structure hiérarchique ordonnée de critères, de sous-critères est explicitée dans la figure 4 ci-dessous:

FIGURE 4
Représentation graphique des niveaux de la hiérarchie des critères



Source : Elaboration propre

L'élaboration des critères est une étape cruciale dans la détermination des zones potentielles à l'urbanisation à partir des SIG qui offrent des fonctions d'acquisition de données sous forme numériques. Ils permettent la validation, la gestion, traitement et l'analyse spatiale, thématique et multithématique de données géoréférencées (EL MORJANI, 2002). Ces critères concernent le foncier, la topographie et l'utilisation du sol. Dans cette étude, l'aptitude à l'urbanisation est évaluée en appliquant les fonctionnalités de SIG qui prennent en compte l'interpolation et le recouvrement, fondé sur l'analyse multicritères. Ces critères sont évalués grâce aux fonctionnalités d'analyse spatiale des SIG. Chaque évaluation aboutit à une carte représentant, pour toutes les surfaces élémentaires, leur adéquation au critère considéré (JOERIN, 1995).

A- Foncier

L'accès au foncier est une contrainte majeure pour chaque aménagement territorial, surtout

pour sa disponibilité et son adaptation à un certain type d'utilisation. Mais la notion de propriété ne se limite pas aux facteurs géographiques, elle inclut aussi des règles rattachées au statut et régime foncier, à l'acquisition du terrain, aux institutions responsables de l'application pratique de ces règles foncières. Ces facteurs juridiques et techniques ont une forte influence dans la planification territoriale, car les décisions sur l'aménagement dépendent ainsi des acteurs concernés par le processus. La problématique de la programmation des ressources foncières tire profondément sa justification de l'inquiétude foncière dans laquelle se trouvent les gestionnaires. Une utilisation future des ressources foncières devrait forcément prendre en compte les paramètres qui apparaissent sur le terrain. Mais force est de reconnaître que la sécurité foncière est sujette à un double cadre juridique de protection des biens moderne et traditionnelle ce qui rend complexe leur spatialisation pour une analyse. A ceci, s'ajoute, la structuration du paysage foncier selon des statuts fonciers variés, entraînant une diversité des modes d'appropriation et une multiplicité des régimes juridiques.

En conséquence, plusieurs facteurs liés à la propriété tel que le régime juridique, le statut foncier, la superficie de la parcelle et le prix du terrain varient dans l'espace et confèrent à chacune de ses unités une aptitude variable pour la définition des orientations et stratégies en matière de gestion foncière.

B- Topographie

Le relief est l'un des premiers critères conditionnant l'urbanisation de la province. Les cartes topographiques au 1/50 000 de la zone d'étude et le modèle numérique de terrain acquis à partir de données ASTER DEM ayant une résolution de 30m ont permis à l'aide du logiciel SIG de générer la carte de pentes et d'exposition.

C- Utilisation du sol

La carte d'utilisation du sol est susceptible d'éclairer toute prise de décision d'aménagement et d'élaborer des grandes orientations en matière de développement urbain provincial. Des couches différentes de l'affectation urbanistique (périmètre urbain, zones agricoles, zones protégées, espaces non bâties et habitats, ...) et des images satellitaires datant de 2016 ont été téléchargées de Google Earth. Une superposition de ces différentes couches sous l'environnement QGIS a permis de réaliser la carte d'utilisation du sol de la province.

Les données démographiques (RGPH, 2014) du Haut-Commissariat au Plan (HCP) ont servi à établir une carte de densités des populations dans la province. Il est nécessaire de tenir compte de la ressource humaine. Une forte densité de population indique souvent un besoin important du foncier pour la réalisation des programmes de développement urbain.

Le réseau routier constitue le seul réseau de transport dans la zone. La longueur totale des routes principales est de l'ordre de 91 km, celle des routes secondaires est de 504 km dont 100% revêtues alors que celle des routes tertiaires est de l'ordre de 930 km dont 49 % revêtues. En outre, la province est traversée par 103 Km d'autoroute reliant les deux principales villes de Khémisset et Tiflet aux villes avoisinantes de Meknès et Rabat.

3.3.3 *Catégorisation et standardisation des critères d'appréciation*

Le processus de calcul de l'importance relative de chaque critère est connu comme la normalisation des critères (SAATY, 1984). Ainsi, dans une optique de pouvoir intégrer plusieurs facteurs (qualitatif et quantitatif) dans le modèle il convient de les rendre comparables, autrement dit, de formuler l'aptitude des différents facteurs sur une échelle commune.

Une fois les critères d'évaluation sont identifiés par rapport à la recherche des zones propices à l'urbanisation. Il s'agit de déterminer la couche de chaque facteur qui indique le degré d'aptitude de chaque unité de l'espace pour la mise en valeur des ressources foncières. Alors, pour chacun des critères identifiés, la procédure calcule une carte critère qui mesure pour le critère spécifié le niveau d'aptitude ou d'inaptitude de l'unité d'espace à l'urbanisation. Ces degrés d'aptitude doivent alors être classés en fonction de l'importance relative de la contribution apportée par ce critère particulier, en vue d'atteindre l'objectif final. Ceci va aboutir à une série de cartes qui seront agrégées par combinaison linéaire pondérée. Dans notre cas d'étude, neuf sous critères à savoir : le statut foncier, le régime juridique du terrain, le prix, la

superficie de la propriété, la pente, l'exposition, l'affectation urbanistique, la densité de la population et la proximité par rapport aux infrastructures ont été sélectionnés basé sur les connaissances d'experts et ont été classé comme défini dans le tableau 1.

Dans cette étude, nous avons utilisé la méthode de la somme pondérée où les facteurs ont été standardisés sur une échelle continue d'aptitude allant de 0 (le moins apte) à 10 (le plus apte). Le tableau ci-dessous présente la catégorisation et la standardisation des critères sectionnés dans l'intervalle de 0 à 10 pour aboutir à une carte représentant, pour toutes les surfaces élémentaires de la zone d'étude, leur aptitude à l'urbanisation selon le critère considéré.

TABLEAU 1
Catégorisation des critères d'appréciation

Sous-critère	Rang	Valeur	Justification : Paramètres et type de critère
Statut foncier (classification des parcelles selon le statut foncier)	1	9	Privé
	2	7	Domaine Privé de l'Etat
	3	6	Collectif
	4	1	Domaine forestier
	5	4	Domaine Communal
	6	3	Domaine public
	7	1	ONEP
	8	1	Autre (Habous, ...)
Régime foncier (classification des parcelles selon le régime foncier)	1	9	Titre
	2	8	Délimitation administrative homologuée
	3	6	Réquisition
	4	6	Délimitation forestière
	5	3	Non Immatriculé
Prix zone (Classes de prix en fonction du secteur, l'affectation urbanistique et la nature d'équipement)	1	9	Zone urbaine, secteur 1 à bon COS
	2	8	Zone urbaine, secteur 2 à COS moyen et faible
	3	7	Zone à urbaniser, terrain urbain équipé
	4	6	Zone à urbaniser, terrain urbain non équipé
	5	5	Zone agricole, terrain nu
	6	4	Zone agricole, terrain agricole
	7	3	Zone agricole, terrain agricole équipé
	8	1	Zone naturelle et forestière
Superficie de propriété (classification des parcelles selon la superficie)	1	1	< 1ha;
	2	2	1ha-5ha;
	3	3	5ha-10ha;
	4	4	10ha-15ha;
	5	8	15ha-25ha;
	6	7	25ha-50ha;
	7	6	50ha-400ha;
	8	5	>400ha
Pente (Classification selon la pente du terrain)	1	10	Horizontal : < 0,5 % ;
	2	9	Subhorizontal : 0,5% - 2%
	3	8	Pente très faible : 2% - 5%
	4	7	Pente faible : 5% - 10%
	5	6	Pente modérée : 10% - 15%
	6	5	Pente très forte : 15% - 30%
	7	4	Pente très forte : 30% - 45%
	8	3	Pente extrême : 45% - 70%
	9	2	Pente abrupte : 70% - 100%
	10	1	Pente très abrupte : >100%
Exposition (Classification selon	1	1	Nord
	2	2	Nord -Ouest

l'orientation)	3	3	Nord-Est
	4	4	Ouest
	5	6	Est
	6	8	Sud-Ouest
	7	9	Sud-est
	8	10	Sud
Aménagement urbain (Classification selon la distance par rapport aux secteurs couverts par documents d'urbanisme)	1	9	< 2500m;
	2	8	2500m-5000m;
	3	4	5000m-10000m;
	4	3	10000m-15000m;
	5	2	15000m-20000m;
	6	1	>20000m
Densité population (Classification selon la densité de la population)	1	2	< 30
	2	3	30-50
	3	4	50-150
	4	5	150-700
	5	6	700-1500
	6	7	5000-3500
	7	8	3500-10000
	8	9	>10000
Infrastructures (Classification selon la distance par rapport au réseau routier)	1	9	< 500m
	2	8	500m-1000m
	3	7	1000m-2000m
	4	6	2000m-4000m
	5	5	4000m-7000m
	6	4	7000-10000m
	7	2	>10000 m

Source : Elaboration propre

3.3.4 Pondération des critères d'appréciation

La quatrième phase consiste à comparer entre eux les différents éléments d'un niveau hiérarchique de façon à déterminer l'importance de sa contribution à la résolution du problème selon la méthode de AHP de (SAATY, 1980). Les critères désignés dans la formulation hiérarchique multicritère déterminent la qualité de la réalisation de l'objectif en utilisant les divers indicateurs liés à la gestion du foncier pour les besoins de l'urbanisation. Les dits indicateurs représentent les différentes options, choix ou alternatives qui pourraient être utilisés pour atteindre l'objectif final du projet. En comparant ces indicateurs et en définissant l'importance de chacun pour les autres en utilisant la méthode AHP, une matrice des rapports de comparaison par paires est obtenue. La comparaison par paire au sein de l'AHP peut être effectuée à travers le schéma montré à la figure 5. Un diagnostic est typiquement utilisé pour obtenir le rapport degré d'importance de chacun des critères basé sur le jugement et la perception de l'expert. La détermination du degré d'importance s'effectue en comparant chacune des paires de critères et en leur assignant un coefficient de pondération r_{ij} suivant l'échelle de valeur de SAATY (voir Tableau 2) pour constituer une matrice de comparaison par paire.

TABLEAU 2
Échelle proposée par SAATY

Degrés d'importance	Explication
1	Importance égale : deux caractéristiques contribuent de la même façon
3	Faible importance : l'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement une caractéristique par rapport à une autre.
5	Importance forte ou déterminante : l'expérience et l'appréciation favorisent fortement une caractéristique par rapport à une autre.
7	Importance très forte ou attestée : une caractéristique est fortement favorisée et sa dominance est attestée dans la pratique.
9	Importance absolue : les preuves favorisant une caractéristique par rapport à une autre sont aussi convaincantes que possible.
2, 4, 6, 8	Valeurs associées à des jugements lorsqu'un compromis est nécessaire.

Source : Tableau de l'échelle de thomas SAATY (1984)

La comparaison constitue, à la fin, une matrice carrée où chaque valeur d'élément va de 1/9 à 9. Les éléments de la diagonale de la matrice sont toujours égaux à 1 alors que les éléments non diagonaux indiquent la perception relative de l'importance d'une caractéristique par rapport à une autre.

FIGURE 5
Schéma de comparaison par paire au sein de l'AHP

$$A = [r_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1j} \\ 1/r_{12} & 1 & \dots & r_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/r_{1j} & 1/r_{2j} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Source : Matrice de comparaison de thomas SAATY (1984)

Une fois que la matrice de comparaison est obtenue, on détermine la valeur propre de chacune et le vecteur propre qui lui correspond. Le vecteur propre indique l'ordre de priorité ou la hiérarchie des caractéristiques étudiées. Ce résultat est important pour l'évaluation de la probabilité, puisqu'il sera utilisé pour indiquer l'importance relative de chaque critère opérant. La valeur propre est la mesure qui permettra d'évaluer la cohérence ou la qualité de la solution obtenue, représentant ainsi, un autre avantage de cette méthode. Par la suite la matrice de comparaison est normalisée de façon à ce que la somme de tous les poids soit égale à 1 (Tableau 3).

Pour l'acceptation des résultats de pondération, il est donc primordial de disposer d'un moyen pour mesurer la cohérence des jugements émis. Dans la plus part du temps, une plus grande cohérence dans les jugements implique des jugements de meilleure qualité ; ce qui suppose que les estimations des poids relatifs aux critères adoptés en sont d'autant plus fiables.

TABLEAU 3

Matrice de comparaison et les poids d'importance relatifs aux critères d'évaluation

Critère	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Poids en %
1	1	2	3	2	3	7	2	3	5	22,6
2	1/2	1	3	2	2	5	2	2	3	15,8
3	1/3	1/3	1	2	3	3	1/3	1/2	3	10,5
4	1/2	1/2	1/2	1	2	5	1/3	2	2	10,8
5	1/3	1/2	1/3	1/2	1	3	1/2	1/2	3	7,3
6	1/7	1/5	1/3	1/5	1/3	1	1/5	1/5	1/3	2,4
7	1/2	1/2	3	3	2	5	1	2	3	15,5
8	1/3	1/2	2	1/2	2	5	1/2	1	5	11,4
9	1/5	1/3	1/3	1/2	1/3	3	1/3	1/5	1	3,7

Source : Elaboration propre. (1) Régime foncier, (2) Statut foncier, (3) Superficie propriété, (4) Prix de zone, (5) Pente, (6) Exposition, (7) Affectation urbanistique, (8) Infrastructure, (9) Population.

3.3.5 Vérification de la cohérence

La notion de cohérence dans la comparaison par paires de SAATY (1980) est basée sur le respect de la transitivité de notre jugement. Ainsi l'indice de cohérence exprimé par la formule mathématique (1) mesure la fiabilité de la comparaison exprimée à des jugements cohérents. Plus l'indice de cohérence ne devient grand et plus les jugements qui ont été exprimés dans la matrice de comparaison seraient incohérents et vice versa.

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - N)}{(N-1)} \quad (1)$$

Avec N : est le nombre des éléments comparés et λ_{\max} , une valeur calculée sur la base de la moyenne des valeurs de matrice de SAATY des vecteurs propres.

De plus l'expérimentation établie par SAATY (1990) a permis de définir le Ratio de Cohérence (RC) comme étant le rapport de l'indice de cohérence calculé sur la matrice correspondant aux jugements des acteurs et de l'Indice Aléatoire (IA) d'une matrice de même dimension présenté dans le tableau 4. Le ratio de cohérence calculé par la formule mathématique ci-dessous (2) mesure la cohérence logique des jugements des experts. Il permet d'évaluer la cohérence des jugements par la méthode de comparaison par paires. Il renseigne sur la cohérence en termes d'importances ordinale et cardinale des critères à comparer. En général, lorsqu'il s'agit de comparer moins de 9 éléments, un seuil de tolérance de 10% est fixé pour cet indice de cohérence. Comme un critère compte rarement plus de 9 indicateurs, 10% est le seuil le plus utilisé dans l'analyse multicritère. Des niveaux d'incohérence supérieurs pourraient être tolérés pour des comparaisons impliquant plus de 9 éléments. Le ratio de cohérence peut donc être interprété comme la probabilité que la matrice soit complétée aléatoirement.

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (2)$$

Où IA : est l'indice aléatoire fixé en fonction du nombre de critères inscrit dans le tableau 4.

Selon SAATY, si RC est supérieur à 0.1, il y a une incohérence dans les comparaisons par paires et alors, la matrice issue des comparaisons devra être réévaluée. La comparaison par paires des critères appliquée pour notre cas d'étude, ainsi que les calculs relatifs aux différents paramètres ont donné les résultats suivants: $\lambda_{\max} = 9,640$, indice de cohérence $IC = 0,08$, indice aléatoire $IA = 1,45$; ratio de cohérence $RC = 0,05 < 0,1$. Le ratio de cohérence étant inférieur à 0.1 ce qui nous permet d'affirmer que les jugements d'appréciation des critères ont été

cohérents.

TABLEAU 4

Indice aléatoire en fonction du nombre de critères

N	5	6	7	8	9	10	11	12
IA	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54

Source : Tableau des indices aléatoires de SAATY (1980)

3.3.6 Agrégation des critères

Pour parvenir à avoir un poids d'importance par critère, il s'agit maintenant d'agrèger l'ensemble des critères associés à notre thématique tels qu'ils sont confirmés dans la structure hiérarchique ci-dessous. D'après la littérature (MAYSTRE *et al.*, 1994; BEN MENA, 2000; ANDRE *et al.*, 2003; MOLINES, 2003 ; PEREIRA *et al.*, 1993) cité par (EL MORJANI, 2002), notre problématique correspond à l'agrégation complète ou approche du critère unique de synthèse puisque ils considèrent que cette méthode est la seule applicable lorsqu'il y a plusieurs critères qui varient de manière continue dans l'espace. Elle consiste en l'intégration de l'ensemble des données dans l'expression mathématique relative à la méthode AHP en vue de l'obtention d'une valeur unique après intégration du poids attribué à chaque critère et combinaison de ces critères en un indicateur par une somme pondérée.

Pendant, une fois que les couches d'information relative aux critères d'appréciation ont été établies et auxquelles ont été attribuées des coefficients de pondération, il est facile de les combiner pour synthétiser ainsi une décision composite sur les zones optimales pour l'urbanisation. Cette opération s'appelle analyse multicritères ou agrégation des critères. La technique la plus courante et la plus connue de cette approche est la combinaison linéaire pondérée ou somme pondérée, qui intègre totalement tous les critères considérés en un seul (SAATY, 1977). Elle consiste à multiplier chaque couche facteur par son coefficient de pondération respectif, et ensuite d'additionner ces résultats pour produire un indice d'aptitude, pour chaque site, situé sur une échelle de 0 à 10 identique à celle des facteurs et dont la somme des poids est égale à 1. Une fois les couches facteurs de décision évaluées, nous les avons par la suite associées par une combinaison linéaire pondérée afin de créer un indice d'aptitude illustré par l'équation (3) (YOON et HWANG, 1995).

$$V_i = \sum_{j=1}^9 a_{ij} * w_j \text{ pour } i=1, 2, \dots, 9 \tag{3}$$

Avec :

$$a_{ij} = \frac{a_i}{a_j}$$

a_i et a_j sont les coefficients de pondération évaluant l'importance relative des critères,

w_j : le poids de chaque critère ;

V_i : indice de synthèse.

4 RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'utilisation de la méthode d'analyse multicritère (AHP) combinée à des systèmes information géographique (SIG) a offert une aide à la prise de décision pour l'évaluation du foncier potentiel à l'urbanisation. La principale production cartographique de cette étude est une carte de synthèse globale générée suite un processus décisionnel comprenant la modélisation des couches d'information, la conversion en raster des layers, le calcul des poids relatifs aux critères suivant la méthode AHP et intégration de leurs poids sur un SIG en vue de leur agrégation. Le résultat de l'agrégation des différentes cartes critères suivant leur poids a permis de classer l'aire d'étude sur une échelle entre 3 et 7, sachant que le pixel ayant une valeur élevée correspond à une zone idéale pour l'ouvrir à l'urbanisation. Aussi, le calcul des poids par l'AHP révèle que le régime foncier est évalué par des experts le plus important facteur pour l'affectation du sol pour l'urbanisation à 22.6%, suivi par le type du statut foncier du terrain à

15,8%, l'affectation urbanistique à 15,5% et la proximité aux infrastructures à 11,4 %. De plus, le ratio de cohérence calculé dans les comparaisons par paire est de $RC = 0,05$ (valeur $< 0,10$) indique que le jugement d'expert de base est raisonnablement cohérent.

Partant des poids de base résultant de la comparaison par paires, on observe la conservation au mieux de la hiérarchie dans l'importance des critères établie par cette approche. On peut donc remarquer que les critères les plus importants restent la sécurité foncière et la présence des aires urbaines. Les autres facteurs qui suivent et qui ne sont pas non plus moindres sont la proximité par rapport aux infrastructures routières, la superficie des propriétés et les caractéristiques naturelles et topographiques du terrain.

Dans notre cas d'étude, pour réaffirmer nos résultats, l'analyse doit dévoiler dans quelle mesure cette classification de l'aptitude des terrains obtenue serait due à certains facteurs isolés ou bien si elle confirmerait de la concordance globale des paramètres et pondérations qui ont été utilisés. Dans cette optique, l'évaluation multicritère à référence spatiale nous a assisté à mettre en évidence les entités territoriales sur lesquelles devront porter en priorité les efforts pour une valorisation et utilisation rationnelle des ressources foncières. Dans la zone étudiée, la conduite de l'agrégation multicritère (méthode des sommes pondérée), sur la base des poids calculés des neuf critères suivant la méthode de SAATY, nous pouvons distinguer cinq unités spatiales différenciées exposées sur la carte de synthèse globale (figure 6). La classification a été accomplie selon l'avis des experts après superposition avec les données thématiques de base collectées auparavant entre autre le schéma directeur de l'aménagement en urbain du binôme Khémisset-Tiflet, plan de périmètre urbain, PZ, PA, ... et aussi après rapprochement avec la réalité terrain par juxtaposition avec les images Google Earth et Bing Maps et qui a fait ressortir cinq catégories de classe de l'indice (valeurs variant entre 2 et 8), afin d'identifier les emplacements des groupes de pixels se retrouvant dans un même ordre d'aptitude : les cellules ayant une note supérieure à 7 ont été assignées au premier rang, les cellules ayant une note égale 6 ont été assignées au deuxième rang, les cellules ayant une note égale 5 ont été assignées au troisième rang et le quatrième rang rassemble les cellules possédant une note inférieure à 4. La carte de synthèse obtenue montre, au travers de sa légende, les valeurs de l'agrégation des différents paramètres, organisées en cinq classes allant du premier rang propice à l'urbanisation au cinquième rang à protéger ou à exclure de la priorité d'urbanisation.

Les résultats finaux obtenus pour la carte d'aptitude globale révèlent que les sites potentiels à l'urbanisation sont les propriétés caractérisées par un régime et un statut foncier aisément mobilisable et proche des zones dotées par d'un document d'urbanisme ou d'infrastructures, ce qui va bien en concordance avec les poids résultants des critères à l'issue de la pondération par comparaison par paires.

Sur la carte de synthèse globale, l'aptitude des terrains à l'urbanisation n'est pas très favorable au-delà des périphéries des centres, compte tenu de l'inexistence de documents d'urbanisme pour la valorisation du foncier et de l'éloignement des infrastructures qui sont pour la plupart concentrées vers les centres urbains. En plus les orientations du SDAU ne sont pas favorables non plus pour le développement urbain dans cette zone et le poids affecté par le statut et le régime foncier (aptitude très favorable dans ces zones) à cet espace n'a pas compenser l'inaptitude affectée par le reste des critères.

La carte d'aptitude ne révèle aucune possibilité de développement urbain dans des zones marquées par la dominance du domaine forestier et le régime immatriculé sous forme de délimitation administrative ; ce qui concorde avec la réalité sur le terrain, et dont la situation se révèle être l'illustration de la carte de synthèse (figure 6), et qui se justifie aussi par les poids obtenus et la comparaison binaire des degrés d'importance entre les sous critères. Les quelques zones d'aptitude favorables qu'on observe en périphérie des centres sont localisées sur des espaces réservés, qui ne sont pas urbains, mais plutôt à vocation agricole ou des réserves stratégiques abritant des aires à activité économique ou touristique.

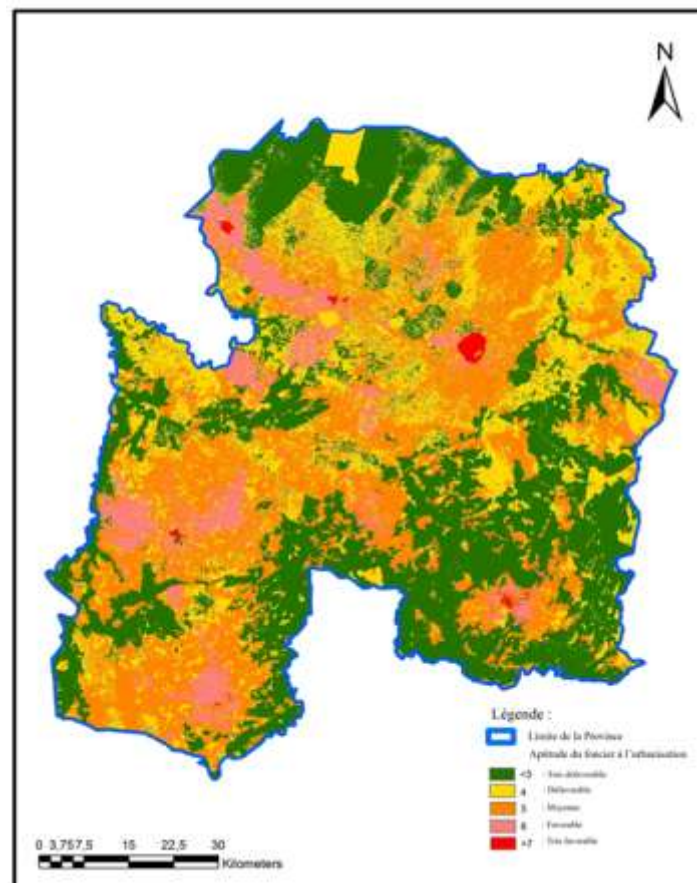
L'analyse des résultats est une étape importante parce qu'elle permet de consolider davantage la validité des résultats en précisant les limites dans lesquelles des conclusions qui restent robustes eu égard à la variation des paramètres de la méthode utilisée (MICHEBON, 2010). Elle permet aussi de comparer l'effet marginal sur la décision finale qui est le reflet d'une personnalisation sur quelques critères ou sur la pondération qui leur est associée.

(PREVIL *et al.*, 2003) précisent ainsi que c'est à cette étape de l'analyse multicritère pour l'aide à la décision que l'on retrouve le meilleur potentiel de l'interprétation des résultats assistée auprès des experts et acteurs du domaine du foncier. L'utilisation de la méthode AHP de SAATY pour le calcul de la pondération à attribuer à chaque critère utilisé, affiche des résultats fiables pour l'échelle de la zone étudiée, confirmant ainsi, ce que nous avons affirmé précédemment sur les zones potentielles à l'urbanisation. La pondération finale relative aux facteurs déterminant l'aptitude urbaine d'un espace a permis de produire des cartes thématiques par critère et une carte de synthèse finale conjuguant les neuf critères en fonction de leurs poids.

Le principe d'élaboration des cartes des différents facteurs qui interviennent dans la priorisation de l'utilisation du foncier étant basé sur l'évaluation multicritère et l'analyse spatiale, ne présentent qu'une appréciation relative des différents critères. Les cartes établies ne représentent que des variations spatiales en un instant donné, malgré cela elles permettent néanmoins d'évaluer l'aptitude des terrains de la province de Khémisset à l'urbanisation. Les procédures d'analyse spatiale basée sur des critères pour l'identification et le choix de l'emplacement d'un site a déjà fait ses preuves à travers diverses études (EASTMAN *et al.*, 1993; LILI CHABAANE *et al.*, 2002, BENSAID *et al.*, 2007). En effet, les résultats obtenus sont valables et leur fiabilité dépend de la précision des données et informations exploitées.

FIGURE 6

Cartographie de l'utilisation du sol propice à l'urbanisation



Source : Elaboration propre

L'utilisation combinée de l'AHP et du SIG a permis d'identifier des zones potentielles à l'urbanisation. Toutefois, des difficultés ont été rencontrées dans cette étude. L'une des difficultés de cette méthode est le choix des limites des classes des facteurs. Il s'opère en fonction d'une part de la faculté de discernement de l'opérateur et de son sens de jugement, et d'autre part, des valeurs des critères (JOURDA *et al.*, 2006). Les limites des classes choisies ne sont donc pas figées, mais découlent de la réalité du terrain et des objectifs à atteindre. Dans une

telle approche l'estimation de certains paramètres s'avère difficile. Ainsi, la détermination des types d'utilisation du sol est rendue difficile du fait de l'insuffisance de métadonnées. Aussi, les données exploitées sur l'utilisation du sol ne sont pas à jour et fournissent moins de précisions sur les informations liées à l'affectation urbanistique des zones et au réseau des infrastructures existantes. L'un des paramètres dont la réalisation a été difficile, fut encore la couche de topographie. En effet, le modèle numérique de terrain ayant servi à l'établissement des cartes de pente et d'exposition ont une résolution spatiale de 30 m x 30 m. Cela n'a certainement pas permis une interprétation plus précise de la surface terrestre.

Le travail a permis d'appréhender l'état des transformations des différentes affectations urbanistiques de zones et de cartographier l'utilisation du sol propice dans la province de Khémisset pour les besoins d'urbanisation par l'utilisation d'un SIG combiné à la méthode d'analyse multicritère AHP. Certes, les résultats obtenus sont valables et leur fiabilité dépend des informations exploitées et des critères adoptés. La carte de synthèse des zones potentielles à l'urbanisation réalisée à partir de cette approche, peut être utilisée comme un instrument de base à la prospection des zones à doter par des schémas d'urbanisme ou d'aménagement pour réguler l'urbanisation et optimiser l'utilisation des ressources. Certes, le SIG combiné à l'AHP constitue l'un des meilleurs outils de décision pour l'aménagement des territoires. Un renforcement des moyens permettant de progresser dans l'évaluation des projets de développement dans un cadre intégré et structuré constitue un des éléments nécessaires pour promouvoir le développement durable (PREVIL *et al.*, 2003).

5 CONCLUSION

Notre contribution a permis de formaliser une approche pour la construction d'un modèle d'évaluation de la mobilisation du foncier dans le cadre de la planification urbaine. Cette approche peut être appliquée à d'autres problématiques que l'évaluation de l'utilisation du sol suivant les documents d'urbanismes. Elle présente trois particularités principales. La première est d'intégrer dans la construction du modèle des facteurs importants traduisant la perception de la programmation des ressources foncières suivant la méthode développée par SAATY. Nous avons choisi pour cela un modèle hiérarchique comportant plusieurs niveaux. La deuxième particularité de l'approche est d'utiliser des méthodes d'agrégation qui permet d'exprimer des synergies entre plusieurs critères. Elle présente également d'autres aspects plus spécifiques, notamment lors de l'évaluation des préférences où nous construisons des exemples afin de récupérer pour chaque vecteur d'alternatives le vecteur d'utilité de ces alternatives, puis de le trier en ordre décroissant. Ensuite, on fait une somme pondérée de ces nouveaux vecteurs par des coefficients prédéfinis. La troisième particularité de l'approche est l'intégration d'un SIG pour la représentation des données géographiques, la modélisation des informations par thème et la classification des résultats obtenus sur des cartes.

En outre, la méthodologie adoptée prend en considération les composantes foncière, topographique et urbanistique pour construire un indice global de synthèse. Pour ce faire, trois catégories d'indices ont été spatialisées dans un SIG et pondérées à l'aide de la méthode hiérarchique multicritère pour obtenir la carte de décision globale de programmation d'utilisation du sol. L'implémentation de ces fonctions dans un SIG fournit un outil simple à manipuler, souple et permettant des interrogations analytiques.

Le SIG fédéré à l'analyse multicritère offre des possibilités de gestion du territoire intégrant tous les paramètres relatifs à son développement. Ces techniques ont été appliquées à la province de Khémisset pour la définition d'un modèle pour la compréhension du processus de programmation des ressources foncières pour les besoins d'urbanisation. De même, il permet de cartographier l'utilisation du sol propice pour le développement urbain et d'éclairer les professionnels sur la destination et l'affectation des zones potentielles : à ouvrir pour l'urbanisation, à réserver à l'agriculture ou à protéger.

Le dispositif mis en place constitue une ressource très précieuse pour les autorités locales et les services chargés de la planification pour la définition des besoins en matière d'utilisation du sol, la programmation de l'affectation urbanistique et l'évaluation foncière pour l'aménagement du territoire. En outre, la technique appliquée peut facilement être étendue à d'autres domaines

d'application ou à d'autres facteurs selon la disponibilité des données d'où sa souplesse et son caractère évolutif.

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDRE, P., DESLISLE, C., REVERET, J-P. (2003): L'évaluation des impacts sur l'environnement : processus, acteurs et pratiques pour un développement durable, Presses internationales Polytechnique; 519 p.
- ARCINIEGAS G., JANSSEN R. et OMTZIGT N. (2011): Map-based multicriteria analysis to support interactive land use allocation, *International Journal of Geographical Information Science*, 25:12, 1931-1947.
- BEN MENA, S. (2000): Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 4 (2), p. 83-93.
- BENSAID A., BARKI M., TALBI O., BENHANIFIA K. et MENDAS A. (2007): L'analyse multicritère comme outil d'aide à la décision pour la localisation spatiale des zones à forte pression anthropique : le cas du département de Naâma en Algérie, *Revue Télédétection*, 2007, vol. 7, n° 1-2-3-4, pp 359-371.
- BRANS, J. P. et MARESHAL, B. (2002): Prométhée-Gaïa, Une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples, Éditions de l'Université de Bruxelles.
- CHAKHAR, S. (2006) : Cartographie décisionnelle multicritère : formalisation et implémentation informatique, thèse Université Paris Dauphine, 300p
- CHTOUKI, H. (2011) : La planification urbaine au Maroc : État des lieux et perspectives. FIG Working Week 2011 Bridging the Gap Between Cultures Marrakech, Morocco, 18-22.
- COLLINS, M.G., STEINER, F.R., et RUSHMAN, M.J. (2001): Land use suitability analysis in the United States. Historical development and promising technological achievements. *Environmental management*, 28 (5), 611-621.
- CONCHITA M. G. K. (2010) : Modélisation géomatique par évaluation multicritère pour la prospection des sites d'agriculture urbaine à Ouagadougou, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*.
- EL MORJANI, Z. (2002) : Conception d'un système d'information à référence spatiale pour la gestion environnementale ; application à la sélection de sites potentiels de stockage de déchets ménagers et industriels en région semi-aride (Souss, Maroc). Thèse de doctorat, université de Genève. *Terre et Environnement* Vol. 42, 300 p.
- EASTMAN J.R, KYEM P.A.K, TOLEDANO J, WEIGEN J. (1993): *Exploration in Geographic Information Systems Technology*, Volume 4, GIS and Decision making. UNITAR European office, Palais des Nations, CH-1211 Geneva 10, Switzerland.
- FEIZIZADEH B. et BLASCHKE T. (2012): Land suitability analysis for Tabriz County, Iran: a multi-criteria evaluation approach using GIS, *Journal of Environmental Planning and Management*, pp1-23.
- FIGUEIREDO, R.F. (2001): Modélisation cartographique en environnement SIG pour l'aide à la prise de décision: application à l'étude des effets potentiels des utilisations des terres dans le secteur nord du Massif Marginal Coimbra. Éditions de Université de Coimbra.
- FUMEY, M. (2001): Méthode d'évaluation des risques agrégés: application au choix des investissements de renouvellement d'installations, Thèse de doctorat, Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, Institut Polytechnique, Toulouse.
- HAMDADOUD, D. et BOUAMRANE, K. (2007): Un système d'aide à la décision en aménagement du territoire, une approche multicritère et une approche de négociation, Thèse de doctorat université d'Oran.
- HENRIET, L. (2000): Systèmes d'évaluation et de classification multicritères pour l'aide à la décision: Construction de modèles et procédures d'affectation, Thèse de doctorat, Université Paris Dauphine.
- JOERIN, F. (1995): Méthode multicritère d'aide à la décision et SIG pour la recherche d'un site. *Revue Internationale de Géomatique*, 5, pp. 37-51.
- JOERIN, F. (1997): Décider sur le territoire. Proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthodes d'analyse multicritère. Thèse de Doctorat ès sciences techniques, Ecole

- polytechnique fédérale de Lausanne, département de génie rural, 269 p.
- JOURDA J. P., SALEY M. B., DJAGOUA E. V., KOUAME K. J., BIEMI J. et RAZACK M. (2006): Utilisation des données ETM+ de Landsat et d'un SIG pour l'évaluation du potentiel en eau souterraine dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo (nord de la Côte d'Ivoire) : approche par analyse multicritère et test de validation. *Revue de Télédétection*. vol.5, n°4, pp. 339-357
- LAARIBI, A. (2000): SIG et analyse multicritère, Paris : Hermès Science Publications, 196p.
- LAARIBI, A. et al. (1996): Systèmes d'information géographique et analyse multicritère: Intégration pour l'aide à la décision à référence spatiale. PhD thèses, Université Laval.
- LE GALL, AC. (2009): Panorama des méthodes d'analyse multicritère, INERIS, Paris.
- LILI CHABAANE Z., FRIAA I., RHOUMA A. et FERCHICHI M. (2002): Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management 7-10 January 2002, Tunis (EPCOWM'2002), p.425-436.
- MALCZEWSKI, J. (2004): GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in planning*, 62 (1), 3–65.
- MAMMERI, ML. (2013): Une approche d'aide multicritère à la décision pour l'évaluation du confort dans les trains: construction d'un modèle d'évaluation. Université Paris Dauphine - Paris IX.
- MARINONI, O. (2005) A stochastic spatial decision support system based on PROMETHEE. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(1): 51–68.
- MARTIN, B.; ST-ONGE, et WAAUB, J.P. (2003): An integrated decision aid system for the development of Saint-Charles River's alluvial plain, Québec, Canada. *International Journal of Environmental Pollution*, 12 : 264–279.
- MOLINES, N. (2003). Méthodes et outils pour la planification des grandes infrastructures linéaires et leur évaluation environnementale. Thèse. Faculté de Sciences Humaines et Sociales, Département de Géographie, Université Jean Monnet, Saint-Etienne, 449 p.
- PELIZARO, C., ARENTZE, T., et TIMMERMANS, H. (2009): GRAS: a spatial decision support system for green space planning. In: S. Geertman and J. Stillwell, eds. *Planning support systems: best practice and methods*. Part II. Dordrecht: Springer, 191–208.
- PREVIL C., THERIAULT M. et ROUFFIGNAT J. (2003): Analyse multicritère et SIG pour faciliter la concertation en aménagement du territoire : vers une amélioration du processus décisionnel ? *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 47, n° 130, 2003, p. 35-61.
- RGPH, 2014: Recensement Général de la Population et de l'Habitat, Haut-Commissariat au Plan, Centre National de Documentation, Rabat.
- RECATALA, L. et ZINCK, J. (2008): Land-use planning in the Chaco plain (Burrucacú, Argentina): Part 2: generating a consensus plan to mitigate land-use conflicts and minimize land degradation. *Environmental Management*, 42 (2), 200–209.
- ROY, B. et BOUYSSOU, D. (1993): Aide Multicritère à la Décision: Méthode et Cas, Economica, Collection Gestion; Série: Production et Techniques Quantitatives appliquées à la gestion, Paris.
- ROY, B. (1985): Méthodologie multicritère d'aide à la décision. Paris : Economica, XXII - 423p.
- SAATY, T.L. (1977): A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of Mathematical Psychology*, N°15, pp. 234-281.
- SAATY, T.L. (1980): *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, USA.
- SALOMON, V. A. P. (2001): A compilation of comparisons on the analytic hierarchy process and others multiple criteria decision making methods: some cases developed in Brazil, 6th ISAHP, 2-4 août 2001, Berne, Switzerland, p. 413-420.
- THERIAULT, M. et CLARAMUNT, C. (1999) : La représentation du temps et des processus dans les SIG : une nécessité pour la recherche interdisciplinaire. *Revue internationale de géomatique*, 9 (1) : 67-100.
- VINCKE, P. (1989): *L'aide multicritère à la décision*, Éditions de l'Université de Bruxelles.