

Intégration de la prise de décision multicritères (MCDM) dans un contexte de gestion urbaine

**Z. MEKRANFAR, A. MENDAS, A. MEBREK
ASAL, CTS (Arzew), Dept. SIRS**

Résumé:

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) disposent d'outils puissants pour la manipulation, la gestion et l'analyse de données à référence spatiale. Leur utilisation contribue à la collecte des informations, la production d'informations dérivées et la manipulation d'un thésaurus de données aidant à considérer le problème dans toute sa complexité. Mais, ils ne permettent pas d'intégrer les préférences du décideur et d'effectuer un choix dans un contexte d'évaluation d'objectifs et de critères conflictuels. De plus, un problème décisionnel peut se présenter sous plusieurs problématiques multicritères (choix, tri, rangement). Ces restrictions font des SIG des outils limités en matière d'aide à la décision. Quant aux méthodes d'Analyse MultiCritères (AMC), par leurs fonctions d'agrégation spatiale, elles permettent d'aider à prendre une décision dans les situations où plusieurs solutions se présentent, différents critères d'importances inégales sont à prendre en considération et plusieurs décideurs sont en conflit. Mais, ces dernières ne prennent pas en considération la référence spatiale des données. D'où l'intérêt d'intégrer les SIG et les méthodes d'analyse multicritère pour aboutir à de véritables outils d'aide à la décision à référence spatiale.

1. Introduction

Les SIG disposent des fonctionnalités d'analyse spatiale, outils particulièrement puissants pour mettre en œuvre une stratégie d'aide à la décision mais n'assurent pas la pertinence d'une démarche d'aide à la décision multicritère. Les méthodes d'analyse multicritères, par leurs fonctions d'agrégation spatiale, permettent d'aider à prendre une décision dans les situations de choix où les critères sont multiples, divergents et de nature différente. Mais, elles ne prennent pas en considération la référence spatiale des données. D'où la combinaison des SIG et des méthodes multicritères d'aide à la décision qui forment un système puissant d'aide à la décision. L'identification des terres aptes à l'agriculture fait intervenir plusieurs critères de nature différente et d'importance inégale.

La multitude des méthodes disponibles pour agréger les performances des décideurs afin de faciliter la prise de décision rend le choix de l'une ou de l'autre une tâche difficile. Dans les applications géographiques, les méthodes multicritères d'analyse

hiérarchique sont très souvent utilisées. En effet, elles s'adaptent très facilement à ce type de problèmes (décisionnels spatiaux) et peuvent être aisément intégrées dans un SIG, outil primordial en matières de gestion et de prise de décision spatiale. L'analyse hiérarchique multicritères permet de décomposer un problème selon l'arborescence des différents facteurs et critères de décision et de les comparer entre eux, deux à deux, à l'aide d'une échelle de pondération afin de mettre en évidence la solution qui répond le mieux aux critères de décision. Elle repose sur la comparaison de paires de critères et d'alternatives et permet la prise en compte de critères qualitatifs et quantitatifs. Elle peut s'appliquer pour évaluer l'aptitude des terres à l'agriculture dans la mesure où la classification des terres par le FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture) est basée sur la hiérarchisation des paramètres de classification en facteurs et critères.

Le but principal de cette étude est d'intégrer la méthode d'analyse hiérarchique AHP dans le logiciel SIG open source QGIS, en utilisant le langage de programmation Python, pour aboutir à un système d'aide à la décision spatiale. Ce système sera appliqué sur la zone de M'lèta (Oran) pour établir la carte d'aptitude des terres à l'agriculture du blé dur.

2. Méthodologie

Une évaluation de l'aptitude à l'agriculture peut se faire à travers des opérations de recouvrement sur de nombreuses données multidisciplinaires liées principalement au sol, au climat et aux cultures. Ces données peuvent être représentées sous forme de couches et de tables. L'aspect spatial de notre problème nous a conduits à utiliser les SIG et l'analyse spatiale. En effet, le SIG est considéré comme un outil d'aide à la décision pour résoudre une série de problèmes territoriaux (Chrisman, 2002). L'analyse spatiale est une partie essentielle du SIG et peut être utilisé dans plusieurs applications telles que l'analyse de l'aptitude des terres pour l'agriculture. Malgré son énorme potentiel, le SIG contribue peu à la résolution de problèmes spécifiques pour les décideurs. Afin de combler ces lacunes en termes de soutien à la décision, d'autres capacités analytiques doivent être intégrées dans le SIG (Mendas et al., 2010).

L'identification des terres aptes à l'agriculture

L'analyse spatiale existait bien avant le développement des SIG. Dans les dernières cartes d'aptitude pour l'agriculture ont été généralement produit par superposition manuelle des différentes cartes de critères. En raison de l'évolution de la science informatique, cette analyse a été incorporée dans les SIG. Ainsi, les SIG en cours sont équipés de modules et d'outils pour la modélisation et l'amélioration d'aide à la décision. Certaines techniques sont déjà mises en œuvre et peuvent être utilisés pour déterminer l'aptitude des terres pour l'agriculture. Ces techniques sont souvent appelées évaluation multicritère (Hopkins, 1977). Ils sont les approches les plus utilisées pour l'évaluation de l'aptitude des terres pour l'agriculture. L'utilisateur fournit des cartes et des critères des cartes de contraintes.

AHP est largement utilisé dans les SIG utilisant une analyse raster. Afin de répondre à nos propres besoins, nous avons implémenté une version de cette méthode applicable aux

données rasterisation. Chaque unité terrestre est classée sur la base de son aptitude à un type de culture particulier.

Le processus pour l'aptitude des terres commence par la compréhension du problème. Les capacités des SIG sont utilisés pour définir les unités terrestres potentielles et d'identifier l'ensemble des critères.

Les capacités du SIG en termes d'affichage et de représentation de données sont utilisées pour présenter les résultats. La solution proposée est une automatisation des principales étapes pour l'identification des terres aptes à l'agriculture du blé comme il est illustré sur la figure 1.

Les décideurs choisissent les critères parmi 85 définis afin de pouvoir réaliser l'analyse d'aptitude pour n'importe quel type de culture. Tous les critères possibles ont été rassemblés dans le tableau (table 2) et peuvent être pris en considération lors du choix d'un type de culture particulier.

Comparer par paires les éléments de chaque niveau hiérarchique. Cette étape permet de construire la **matrice de comparaison** dont les valeurs sont obtenues par la transformation des jugements en valeurs numériques selon **l'échelle de Saaty**.

Déterminer l'importance relative des éléments en calculant les vecteurs propres correspondants aux valeurs propres maximales des matrices de comparaison.

Vérifier la cohérence des jugements (RC). Généralement la matrice de comparaison est acceptable si $RC < 0.1$. Sinon les comparaisons par paires doivent être révisées pour réduire les incohérences.

Préparation des couches de critères. d'abord, On fait la classification de chaque critère en 4 classes selon le tableau d'évaluation des actions de référence. Ensuite, on convertit les couches des critères en images raster (rasteriser). La figure 2 présente les limites entre les différentes classes

Résultat final de la classification des actions (unités de terre).

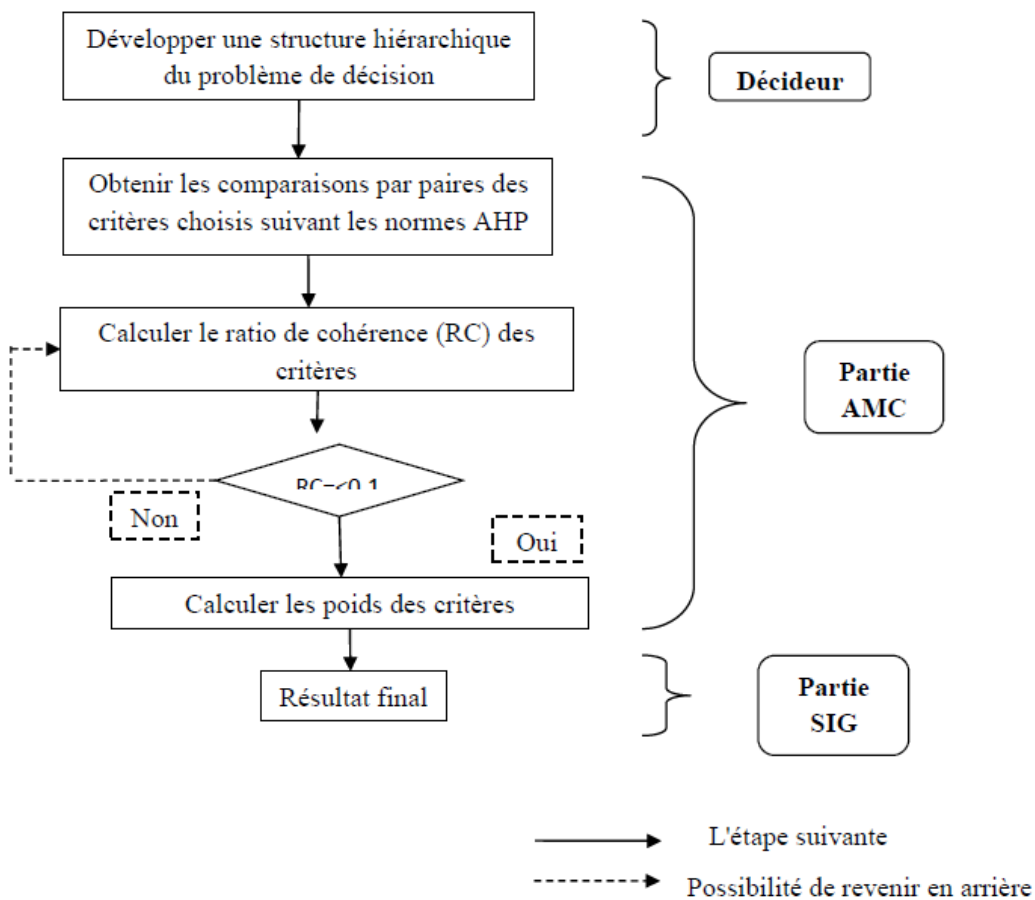


Figure1. Organigramme du processus AHP.

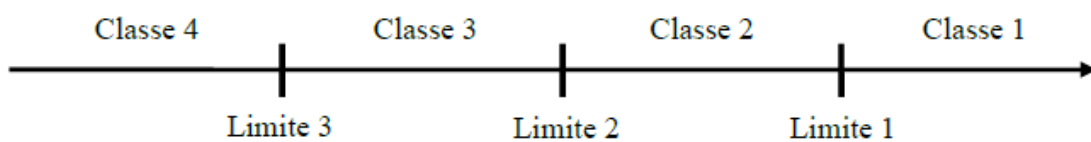


Figure 2 1.Limites entre les différentes classes

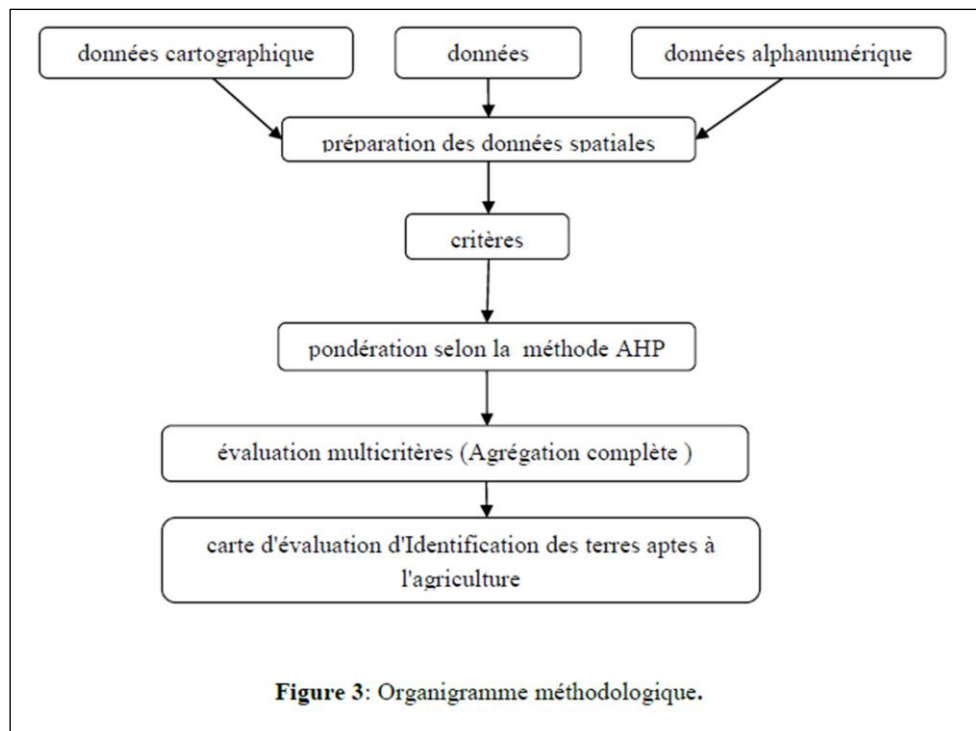
Contribution de la solution

L'objectif principal de cette étude est d'intégrer une méthode d'analyse hiérarchique qui peut s'adapter très facilement aux problèmes décisionnels spatiaux dans un logiciel SIG. Il s'agit de la méthode AHP (Analysis Hierarchical Process) qui peut être aisément intégrée dans un SIG, outil primordial en matière de gestion et de prise de décision spatiale. Son algorithme est programmé en langage python dans l'environnement QGIS. Le menu de QGIS a été personnalisé en ajoutant des rubriques propres à la méthode AHP.

Afin de mettre en œuvre le système développé, une application a été réalisée pour l'évaluation des terres aptes à l'agriculture du blé dur. Toutes les unités de terres ont été classées de la plus apte à la moins apte. Les résultats obtenus montrent que la combinaison de QGIS et AHP constitue un système puissant d'aide à la prise de décision spatiale.

Notre démarche repose sur l'application de l'analyse multicritères intégrées aux systèmes d'information géographique pour réaliser l'identification des terres aptes à l'agriculture. Pour cette évaluation nous avons poursuivi les étapes principales suivantes : hiérarchisation des critères, définition et standardisation des critères, pondération et agrégation complète basée sur la somme pondérée a pour but de produire une cartographie précise des zones non affectées, potentielles, fragiles et critiques, l'approche méthodologique est illustrée sur la figure 3 .

Dans cette étude, réalisé consiste à développer et intégrer une extension en python qui effectue l'analyse multicritère avec la méthode AHP sous le logiciel SIG (QGIS), un outil open source.



Identification de la zone d'étude

La zone d'étude choisie couvre environ 10 033 ha. Elle est située à l'Est de la Sebkhia d'Oran, à une vingtaine de Km au Sud de la ville d'Oran.

La zone d'étude est aisément accessible par la RN4 qui traverse la zone d'Ouest en Est. De même, la RN13 passe par la zone en direction Nord-Sud. Par ailleurs, plusieurs Chemins de Wilaya (CW) notamment CW 35, CW 18 et CW 50 bordent ou traversent la zone. On soulignera aussi l'existence d'un réseau dense de chemins communaux permettant de relier toutes les agglomérations aux routes nationales et chemins de wilaya. En matière de desserte agricole on note l'existence d'un important réseau de pistes agricoles en terre .

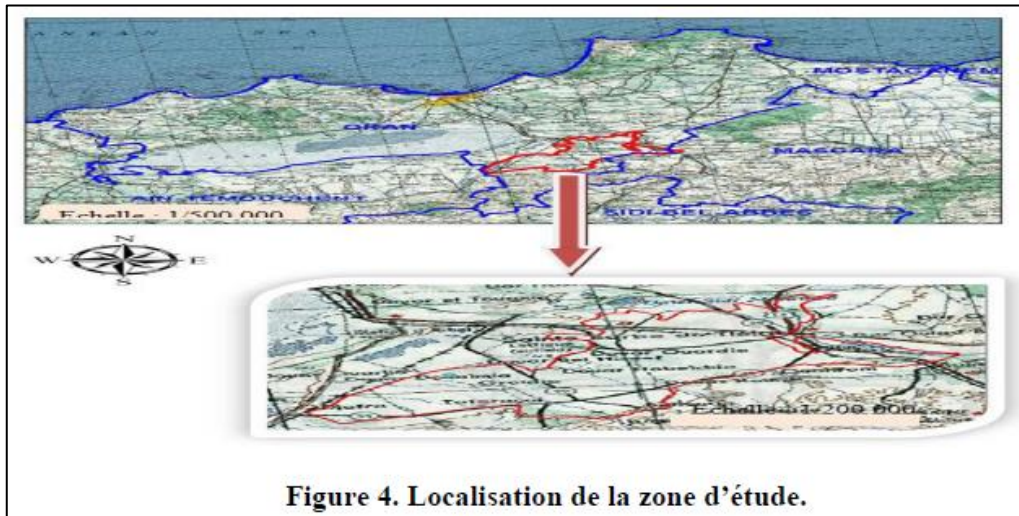


Figure 4. Localisation de la zone d'étude.

Identification des les critères

Les 12 critères de classification et leurs sources d'acquisition sont présentés dans le tableau suivant (Mendas A. & Delali A., 2012).

Famille des critères	Code	Type	Unité	Source
Réserve facilement utilisable (RFU)	C1	quantitatif	Mm	Etuded' AménagementHydro -Agricoledela Plaine deM'LETA(W.D'ORAN) (SCET-Tunisie/ENHYD- Algérie,2007)
Drainage	C2	quantitatif	m/j	
Perméabilité	C3	quantitatif	cm/h	
Potentielhydrogène (pH)	C4	quantitatif	-	
Conductivitéélectrique(CE)	C5	quantitatif	mmhos/cm	
Tauxdecalcaireactif	C6	quantitatif	%	
Capacitéd'échange cationiqu e(CEC)	C7	quantitatif	meq/100g	
Texture dusol	C8	qualitatif	-	
Profondeur utile dusol	C9	qualitatif	-	
Pente	C10	qualitatif	-	MNT-ASTERGDEM
Disponibilité de la maind'œuvre	C11	qualitatif	-	Carte topographique au1/25000
Proximité (routes)	C12	qualitatif	-	

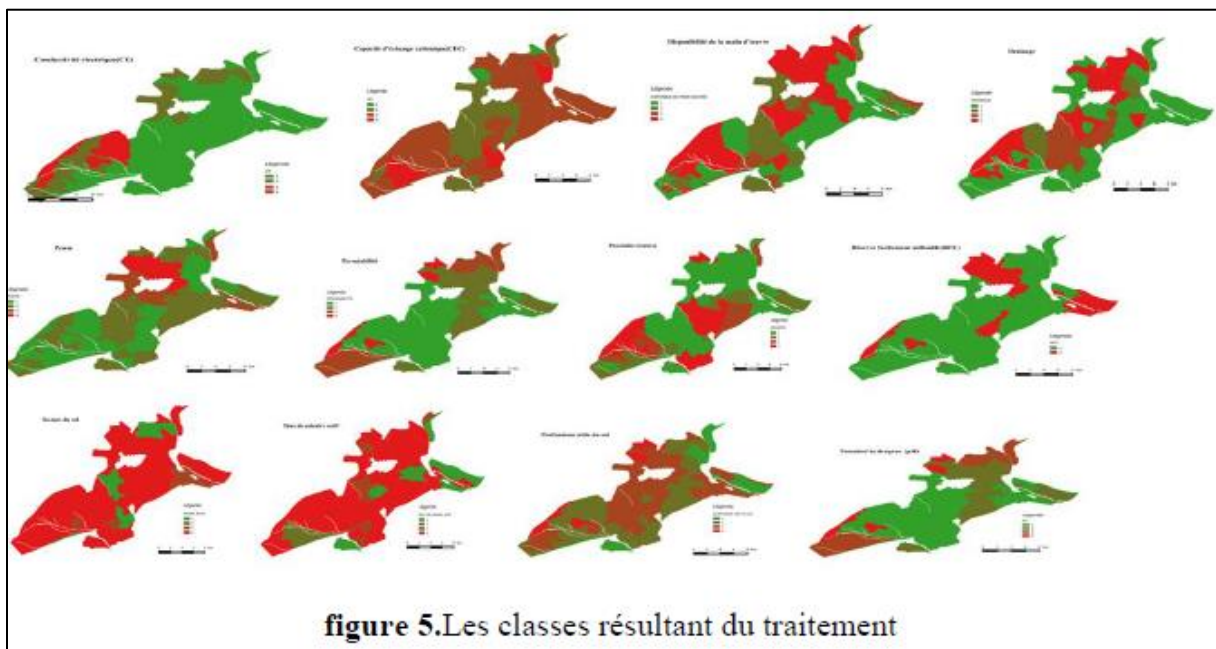
Tableau 1. Liste des critères retenus

Carte des critères

La collecte et la préparation des données constituent une étape cruciale pour la suite du processus d'évaluation. En effet, c'est à partir des cartes obtenues lors de cette étape qu'on va pouvoir déterminer l'ensemble des unités des terres qui prendront part à notre évaluation, ainsi que leurs performances sur chaque critère. Une carte a été élaborée pour chaque critère identifié comme étant apte à prendre part aux processus d'évaluation. L'ensemble de ces cartes à été réalisé grâce à une rastérisation des couches et une exploitation des données contenues dans les divers rapports de l'étude d'aménagement de la plaine de M'lèta.

Les cartes effectivement utilisées sont les suivantes Figure 5 :

Carte Potentiel hydrogène (pH), Carte Capacité d'échange cationique (CEC) , Carte Conductivité électrique (CE) , Carte de réserve facilement utilisable , Carte de proximité , Carte des pentes , Carte Texture du sol , Carte de drainage , Carte Profondeur utile du sol,
Carte Disponibilité de la main d'œuvre , Carte de perméabilité , Carte Taux de calcaire actif.



Définition des limites des classes

L'utilisateur a la possibilité de déterminer les limites des classes d'aptitude suivant les valeurs des performances des décideurs.

Les évaluations des unités de terre par rapport aux critères prennent une valeur parmi les quatre (1, 2, 3, 4).

1 étant la meilleure valeur, et la classe 1 sera alors la meilleure classe. Mais avant que l'utilisateur ne détermine les limites des classes, nous lui proposons des limites théoriques

selon la règle suivante : la valeur maximum d'aptitude que peut prendre une unité de terre, par rapport à une classe donnée, correspond aux valeurs maximums que peut prendre cette unité pour chaque critère par rapport à cette même classe. Par exemple, si nous avons trois limites, nous aurions quatre classes comme suit :

- Limite 1 : limite entre la classe 1 (Aptitude élevée) et la classe 2 (Aptitude moyenne);
- Limite 2 : limite entre la classe 2 et la classe 3 (Aptitude marginale);
- Limite 3 : limite entre la classe 3 et la classe 4 (Inaptitude).

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
Limite 1	40	1	6	7.5	06	4	40	4	1.5	1.5	10	1.5
Limite 2	20	0.2	9	8	1.4	8	25	8	2.5	2.5	20	2.5
Limite 3	10	0.1	12	8.5	2.4	10	12	12	3.5	3.5	30	3.5
Sens du critère	Max	Max	Max	Min	Min	Min	Max	Min	Min	Min	Min	Min
Poids critères	0.058	0.114	0.114	0.114	0.213	0.028	0.063	0.213	0.028	0.028	0.015	0.015

Tableau 2. Définition des limites des classes.

Résultat finale

Dans cette application, la carte d'aptitude des terres à l'agriculture du blé dur, de la plaine de M'léta a été réalisée en utilisant AHP. L'algorithme WLC est l'un des plus employés pour résoudre des problèmes multicritères,

la WLC est une méthode compensatoire (à critère unique de synthèse, selon l'école américaine: elle demande la standardisation des couches raster représentant les critères d'analyse, l'attribution d'importances relatives à ces couches avec des poids (coefficients multiplicatifs) et ensuite la combinaison (addition) des couches pour obtenir un score final d'aptitude pour chaque cellule (pixel). La cellule avec le résultat algébrique le plus haut indique le meilleur emplacement. Dans ce sens, la WLC permet de compenser, sur une même cellule, une valeur faible, induite par un critère, par une valeur plus forte, induite par un autre critère. en applique la forme suivent

$$SKI=(C1*0.058)+(C2*0.114)+(C3*0.114)+(C4*0.114)+(C5*0.231)+(C6*0.028)+(C7*0.063)+(C8*0.213)+(C9*0.028)+(C10*0.028)+(C11*0.015)+(C12*0.015)$$

La carte finale est présentée ci-après sur la figure 5. Cette carte n'est pas définitive, elle nécessite une validation par comparaison à d'autres cartes réalisées par d'autres approches et des sorties sur terrain.

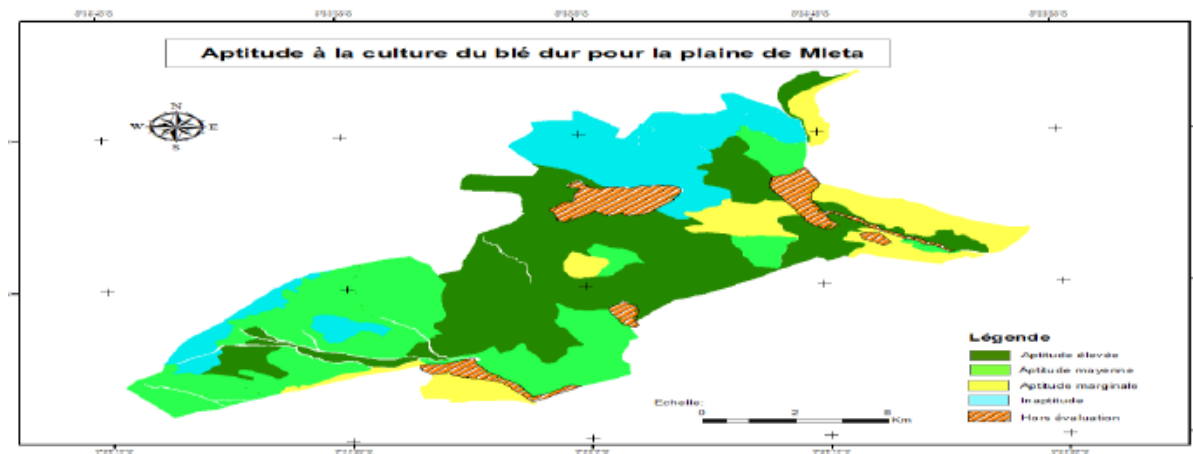


Figure 5. La carte d'aptitude des terres à l'agriculture du blé dur.

Conclusion et perspectives

Dans le travail nous a permis d'assimiler les techniques de Géomatique, en général, et comprendre des outils d'investigation en matière de gestion et prise de décision tels que les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et les méthodes d'analyse multicritère d'aide à la prise de décision (AMCD), en particulier. Toutes les données et les informations nécessaires à la réalisation de la carte d'aptitude des terres à l'agriculture du blé dur ont été identifiées et organisées. Cette carte d'aptitude représente un outil efficace d'aide à la décision à référence spatiale pour le décideur lors de son choix. Sa réalisation a nécessité d'agréger un ensemble de données à référence spatiale de natures différentes et ayant une importance inégale. Ce qui signifie que le problème était décisionnel et spatial. Pour sa résolution, la méthode d'analyse hiérarchique AHP a été intégrée dans le SIG open source QGIS. En effet, la méthode AHP offre la possibilité de prendre en compte des critères conflictuels, des préférences divergentes et des systèmes de valeurs différents et peut s'adapter facilement au mode de classification de la FAO(Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture) basé sur une hiérarchie des paramètres de classification en facteurs et critères, alors que les SIG apportent leurs capacités en matière de modélisation, de stockage, de gestion, d'analyse et d'affichage de données à référence spatiale.

En perspectives, on prévoit de valider les résultats obtenus en les comparant aux résultats déjà obtenus par d'autres approches et des sorties sur terrain.

Référence:

- Bosko .B, Zorica.S, Atila.B, Bojan.S : « Group decision making in land evaluation for irrigation: A Case study from Serbia »
- Chrisman N, 2002. Exploring geographic information systems, 2nd ed. John Wiley & Sons, NY.
- Roy B., (1985): Méthodologie multicritère d'aide à la décision. Econometrica, 1985.

- Chakhar, (2006) : *Cartographie décisionnelle multicritère : formalisation et implémentation informatique*, Thèse de doctorat, Université Paris Dauphine.
- Delali. A. (2010): Etude comparative entre l'utilisation d'un SIG et l'utilisation d'une méthode d'analyse multicritère pour l'évaluation de l'aptitude des terres à l'agriculture. Mémoire de magister, CTS.
- FAO. (1989): Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Evaluation des terres pour l'agriculture irriguée: directives. Bulletin pédologique de la FAO. N°55.
- FAO. (1998): Département du développement durable (SD) de Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Utilisation des systèmes d'information géographique dans le développement durable. [en ligne]. Disponible sur: <<http://www.fao.org/sd/frdirect/gis/EIgis000.htm>>.
- Laaribi A., (1995) : Systèmes d'information géographique et analyse multicritère : intégration pour l'aide à la décision à référence spatiale. Thèse présenté pour l'obtention du grade de philosophiae Doctor (Ph. D.), Université Laval, Faculté de foresterie et de géomatique, Centre de recherche en géomatique.
- Mendas A, Errih M, Benahmed Daho SA, Hamadouche MA, Saidi A, 2010. Water impoundment location -approach using GIS and multicriteria decision making. Rev In Géomatique 20(1): 87-103.
- Mendas A., Gacemi M. A., Boukrentach H., Djilali A. & Mahmoudi R. (2012a): Elaboration d'un Système d'Aide à la Réalisation de Cartes d'Aptitude à l'Agriculture. PNR, Code: 15-CRA-508.
- Mendas A. and Delali A. (2012): Integration of MultiCriteria Decision Analysis in GIS to develop land suitability for agriculture. Application to durum wheat cultivation in the region of Mleta in Algeria. Computers and Electronics in Agriculture. Volume 83 (2012),pp.117–126
- Renaud G. (2003) : Analyse multicritère : étude de l'existant et application en analyse du cycle de vie, p. 52, rapport de stage, directeur de stage : Pr. Bernard Sinclair-Despagné.
- Quantum GIS, (2014) : Conception d'un plugin Python pour QGIS Mise en œuvre pratique et valorisation.
- [1] Site web "http://docs.qgis.org/2.8/en/docs/user_manual".
- [2] Site web "<https://openclassrooms.com/courses/apprenez-a-programmer-en-python>". [3] Site web "<http://www.geotribu.net/node/284>".
- [4] Site web "http://www.tutorialspoint.com/python/python_functions.htm".
- [5] Site web "<http://www.geoinformations.developpement-durable.gouv.fr/qgis-2-8-manuel-de-prise-en-main-realise-par-la-a3096.html>".
- [6] Site web "<http://www.java2s.com/Code/Python/CatalogPython.htm>"