

Prise en compte de la sensibilité paysagère dans la sélection des sites d'enfouissement de déchets ménagers par systèmes d'information géographique et analyse multi critère

Leila Benkahoul^{1,2,*}, Youcef Kehila², Siheme Aliouche^{1,2}

(1) Université Saad Dahlab, Blida 1, route de Soumâa BP 270 Blida (09000) – Algérie

(2) Laboratoire Architecture et Environnement, Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme LAE/EPAU, Alger, Algérie.

*Auteur Correspondant : l_benkahoul@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Souvent situées à la périphérie des agglomérations urbaines, les décharges publiques en Algérie ont été jusqu'à une date récente des lieux de dépôt non contrôlés de déchets ménagers et assimilés, mais aussi d'autres déchets potentiellement dangereux comme les déchets de soins et ceux de l'industrie. Cette situation engendre non seulement des risques pour l'environnement et la santé humaine, mais également des nuisances telles que la dévalorisation des lieux ou la défiguration des paysages. Cependant, la réglementation algérienne sur la gestion des déchets s'est progressivement renforcée y compris dans son application effective. Elle impose depuis 2001 d'éviter de recourir aux « décharges publiques » au profit des Centres d'Enfouissement Techniques (CET). Ces derniers doivent répondre à des normes strictes de protection de l'environnement (étanchéification du sol, traitement des effluents...) et de réhabilitation du site en fin d'activité. Cependant, les études d'impact sur l'environnement imposées depuis lors pour ces installations classées n'abordent pas ou très peu, la notion de paysage et le rôle qu'il joue dans un système complexe et dynamique marqué par une anthropisation de plus en plus forte. Pour pallier cette lacune, la présente étude propose un processus de sélection de sites pour l'activité d'enfouissement des déchets ménagers et assimilés en intégrant la dimension sensible du paysage et ce, en amont de toute étude d'impact ou de faisabilité. Ce processus se base sur deux phases complémentaires à savoir : l'analyse multicritère (AMC) par méthodes géomatiques pour prospecter les sites aptes à recevoir l'activité d'enfouissement et une évaluation de la sensibilité des paysages des sites retenus. Le site d'intervention considéré ici est situé dans la commune d'El Affroun dans la wilaya de Blida (Algérie).

MOTS-CLÉS : Centre d'Enfouissement Technique CET, sensibilité du paysage, système d'information géographique SIG, analyse multi critères AMC, El Affroun

ABSTRACT

Open dumps are often located in urban peripheries. They are places where household and similar wastes are traditionally evacuated, but also other special waste materials like industrial and medical wastes. The emergence of such places leads to sanitary nuisances, devaluation of the places and disfigurement of the landscapes. In Algeria, regulations on waste management have gradually been strengthened. Since 2001, public dumps are forbidden; They are replaced by Sanitary Landfill. These latter must meet strict environmental protection standards (soil sealing, effluent treatment, etc.) and rehabilitation of the site at the end of the activity. However, the environmental impact assessments imposed since then on these classified installations have not integrated the notion of landscape and the role it plays in a complex and dynamic anthropized system. This paper proposes a site selection process for sanitary landfill intended for landfilling of household and similar wastes. We aim integrating the sensitive dimension of the landscape in the earliest steps of impact or feasibility studies. This process is based on two complementary phases: a multi-criteria analysis using geomatic methods to prospect suitable sites for receiving landfill activity is followed by an assessment of landscape's sensitivity of the selected sites to validate the choices. This process has been experimented in the municipality of El Affroun - Blida province (Algeria).

KEYWORDS: sanitary landfill, landscape sensitivity, geographic information systems (GIS), multi-criteria analysis (MCA) method, El Affroun

Prise en compte de la sensibilité paysagère dans la sélection des sites d'enfouissement de déchets ménagers par systèmes d'information géographique et analyse multi critère

Leila Benkahoul, Youcef Kehila, Siheme Aliouche

INTRODUCTION

L'enfouissement des déchets est généralement perçu par la population comme synonyme d'insalubrité et source de dégradation du cadre de vie. Le refus d'implantation de ces lieux est devenu une réaction classique. Ce syndrome de refus ou de protestation est bien connu sous l'abréviation NIMBY « Not in my back yard », qui signifie « pas dans mon jardin ».

L'Algérie, de par son engagement pour la protection de l'environnement est passé depuis 2001 de la décharge publique au Centre d'Enfouissement Technique (CET). Depuis lors, le pays a acquis une expérience non négligeable en matière d'enfouissement technique en adoptant tous les procédés de protection de l'environnement (protection du sol, du sous-sol et des ressources hydriques).

Ces procédés ne peuvent cependant, à eux seuls, effacer l'image négative de l'activité d'enfouissement. En revanche, la prise en compte du paysage visible comme paramètre dans la prise de décision du choix du site d'enfouissement permet d'orienter les choix vers des scénarii plus acceptables en termes d'insertion paysagère. La fin du 20^{ème} siècle a vu en effet, émerger progressivement la question du paysage comme un enjeu sociétal de gestion de l'environnement et d'aménagement du territoire. Il est désormais important de « reconsidérer l'enjeu du paysage et son opérationnalité, à la lumière des nouveaux savoirs et savoir-faire en plein effervescence, et que la notion de paysage fasse écho aux vissées opérationnelles des organismes publics et privés dans l'exercice de l'aménagement des territoires » (Paquette *et al.*, 2008).

La question porte donc sur la manière d'intégrer la dimension sensible du paysage dans la prise de décision du choix du site pour l'enfouissement technique des déchets ménagers. Cette étude propose d'utiliser une approche basée sur l'analyse multicritère (AMC) et le système d'information géographique (SIG). Ensemble, ils forment un outil d'analyse des données à référence spatiale adapté pour la représentation des choix potentiels offert aux acteurs concernés (gestionnaires du territoire, élus des communes et population). Ceci se fait sur la base d'évaluation des critères considérés. En effet, de nombreux travaux scientifiques sur l'application de l'intégration de l'AMC et SIG ont donné satisfaction (El Mordjani, 2003 ; Chaaban *et al.*, 2011 ; Kedowide, 2011).

Dans notre cas d'étude, l'intégration de l'AMC et SIG permet de modéliser l'aptitude du sol et du paysage, de la zone d'étude, la commune d'El Affroun, à recevoir l'activité d'enfouissement des déchets ménagers et permet ainsi aux acteurs concernés, une prise de décision éclairée.

1. Présentation générale de la zone d'étude

La zone d'étude concernée est la commune d'El Affroun. Elle est située au Nord centre de l'Algérie dans la wilaya de Blida, à environ 69 km au Sud-Ouest de la capitale Alger. Elle est localisée entre la latitude 36° 28' 26" Nord et longitude 2° 37' 19" Est (figure 1). Sa superficie est estimée à 55,9 km² et compte 42 465 habitants, avec une densité de 760,1 habitants par km².

El Affroun est une zone agricole au pied de l'Atlas Tellien dont une bonne partie est intégrée à la plaine de la Mitidja Ouest, l'une des terres les plus fertiles en Algérie. La surface agricole représente 3 300 ha, soit 60 % de la surface totale de la commune.

Dans la partie Sud, la commune recèle un patrimoine forestier important qui s'étale, sur une superficie de 1 365 ha. Sur le plan hydrogéologique, la commune d'El Affroun est bordée par Oued Bou-Roumi à l'Est, Oued Djer à l'Ouest et l'intersection de leurs affluents forme la limite Sud de la commune.

De la période de 2005 jusqu'à 2014, la wilaya de Blida a réalisé quatre CET sur son territoire et prévoit la réalisation de quatre autres pour l'élimination des déchets ménagers et assimilés, l'un deux est prévu justement dans la commune d'El Affroun.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériels et données utilisés

2.1.1. Collecte de données

La première étape consiste en une collecte des données géographiques, géomorphologiques, géologiques, hydrogéologiques et la nature d'occupation du sol de la zone d'étude. Ces données sont fournies par le PDAU (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme) d'El Affroun (2008), par la carte topographique et le Modèle Numérique du Terrain (MNT) de la commune, par les images satellites et

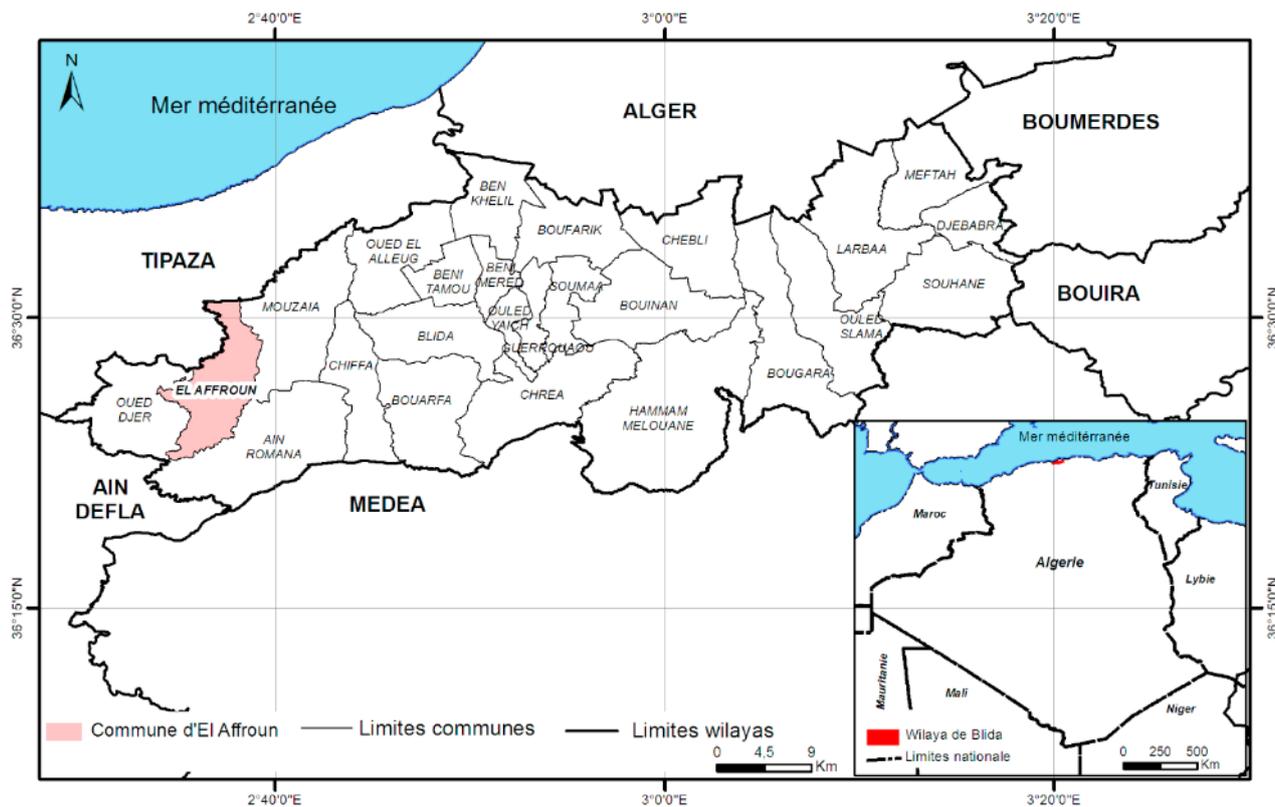


Figure 1. Carte de la situation commune d'El Affroun

par la carte géologique et hydrogéologique de la région. Ces données émanent également des entretiens réalisés avec les services hydrauliques et les services agricoles de la commune. Les discussions avec les services hydrauliques ont porté sur les ressources d'eaux souterraines de la région, leurs importances et leurs localisations. Concernant les données provenant des services agricoles, ils nous ont permis de compléter et d'actualiser la carte d'occupation du sol concernant les exploitations Agricoles (EA) dans la partie Sud de la commune. Ces EA sont des terrains de moyens rendements et seront cédées aux collectivités locales pour fournir à la commune de nouvelles assiettes foncières de développement. Elles représentent d'après nos investigations sur terrain des sites potentiels à l'activité d'enfouissement des déchets ménagers.

2.1.2. Traitement des données par SIG

Les données collectées ont été traitées par le logiciel SIG ArcGIS. Ce dernier permet l'Évaluation Multi Critère (EMC) à travers les fonctions d'analyses géostatistiques et d'agrégations spatiales. Il permet aussi les simulations de visibilité par les fonctions « Viewshed analysis ».

Dans ArcGIS, l'intégration AMC-SIG est de type complet. Les méthodes d'analyse spatiale multicritère interviennent essentiellement dans les fonctionnalités de Superposition (Overlay) et d'Algèbre Spatiale, utilisées pour la modélisation d'aptitude (Balzarini, 2013). Ces fonctionnalités constituent

les applications SIG les plus exploitées pour la planification et l'aménagement du territoire. Elles visent l'identification du modèle spatial le plus approprié pour l'utilisation du sol selon les contraintes, les conditions et les prescriptions propres à une activité (Balzarini, 2013).

2.2. Méthodologie de prise en compte de la sensibilité paysagère

La réponse à la problématique d'intégration de la dimension sensible du paysage dans la sélection des sites d'enfouissement des déchets ménagers est un processus réalisé selon deux évaluations en deux phases complémentaires. Une évaluation multicritère par méthode géomatique pour la prospection de sites appropriés à l'activité d'enfouissement, suivie par une évaluation de la sensibilité paysagère des sites identifiés appropriés, pour finalement identifier les sites potentiels à l'activité d'enfouissement des déchets ménagers dans la commune d'El Affroun.

2.2.1. Recherche prospective de sites appropriés à l'enfouissement des déchets ménagers

La phase de prospection a été réalisée par une évaluation multicritère. La méthode choisie est l'analyse hiérarchique AHP (Analytic Hierarchy Process) développée en 1980 par Saaty. L'évaluation multicritère commence par la détermination

des critères d'évaluation et leur catégorisation entre critères d'appréciation (facteurs) et critères d'exclusion (contraintes) comme première étape. Ensuite la standardisation, puis la pondération et à la fin l'agrégation des facteurs pour finalement aboutir à la carte d'aptitude à l'enfouissement des déchets ménagers de la commune d'El Affroun.

2.2.1.1. Détermination des critères d'évaluation

Les critères d'évaluation pour la prospection des sites appropriés à l'enfouissement des déchets ménagers dans la commune d'El Affroun ont été déterminés à partir de l'analyse des données de la zone d'étude, des discussions avec les spécialistes en aménagement du territoire et en hydrogéologie et sur la base du guide pour la sélection des sites de CET du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme (MATET, 2005). Il s'agit en fait de critères dictés aussi bien par les données foncières et d'occupation du sol et par souci de protection de l'environnement que pour limiter l'impact de visibilité de l'activité d'enfouissement des déchets sur la population.

Selon l'importance de chaque critère dans l'activité d'enfouissement, une catégorisation est établie pour définir les critères d'exclusion (contraintes) et les critères d'appréciation (facteurs) à prendre en compte dans la mise en œuvre de l'évaluation multicritère. La variable Contrainte désigne si l'usage de l'espace au profit de l'activité d'enfouissement est possible ou non. La variable Facteur indique le degré d'aptitude de chaque unité de l'espace au profit de cette pratique. Elle exprime une variation, théoriquement continue de l'aptitude à un usage précis (Paegelow *et al.*, 2007). Dans ce cas d'étude, cinq couches contraintes et sept couches facteurs ont été définies.

Dans les méthodes d'aide à la décision telles que l'analyse multicritère, l'utilisateur peut considérer que les critères n'ont pas la même importance (Chakhar, 2006). Ainsi, la plupart des méthodes multicritères traduisent cette importance par des nombres, souvent appelés poids, afin de les rendre comparables et de les intégrer dans le modèle de calcul d'aptitude. Il s'agit de la standardisation dans laquelle le poids des facteurs est défini sur une échelle d'aptitude continue de 0 à 10.

2.2.1.2. Pondération des facteurs par comparaison par paire

Les facteurs étant standardisés, ils ont été par la suite pondérés par la méthode de comparaison par paire. Selon Graillot *et al.* (2006) « La comparaison par paire des facteurs est destinée à aider le décideur, public ou privé, à affiner son processus de décision en examinant la cohérence et la logique de ses préférences ». La comparaison par paire génère une matrice de comparaison à partir de laquelle est déduite l'importance relative de chaque facteur; cette importance est exprimée selon Saaty (1984) par les poids sur une échelle de valeurs de 1 à 9 (tableau 1). Ces valeurs permettent d'élaborer des matrices de comparaisons par paires, réciproques et positives.

En s'appuyant sur des tests statistiques (Saaty, 1977 ; Paegelow, 2007), la matrice de comparaison conduit à une matrice de pondération. Cette dernière définit les valeurs de priorités appelées vecteurs propres ou coefficients de pondération, dont la somme est égale à 1.

La cohérence de la matrice de comparaison par paire de Saaty (1977) est vérifiée par l'indice de cohérence (IC) et le ratio de cohérence (RC). L'indice de cohérence (IC) est basé sur le respect de la transitivité du jugement. Si A est préféré à B et que B est préféré à C, la transitivité exige que A soit préféré à C (Kedowide, 2011). IC mesure donc, la fiabilité de la comparaison exprimée par des jugements cohérents. Plus IC est grand et plus les jugements qui sont exprimés dans la matrice de comparaison sont incohérents et vice versa.

L'indice de cohérence (IC) s'exprime par la formule suivante :

$$IC = (\lambda_{\max} - K) / (K-1)$$

K, étant le nombre de facteurs comparés

λ_{\max} , une valeur calculée sur la base de la matrice de Saaty (1980), des vecteurs propres et de K.

Le ratio de cohérence (RC) est défini par Saaty (1990),

Tableau 1. Echelle numérique de comparaison binaire (Saaty, 1984)

Intensité de l'importance	Expression d'un critère par rapport à un autre
1	Importance égale
3	Faible importance de l'un sur l'autre
5	Importance essentielle
7	Importance démontrée
9	Importance absolue
2, 4, 6, 8	Intermédiaire

comme étant le rapport de l'indice de cohérence (IC) calculé de la matrice correspondant aux jugements des acteurs (matrice issue de la comparaison par paire) et l'indice aléatoire (IA) d'une matrice de même dimension. IA est issu d'un échantillon de 500 matrices réciproques positives gérées de façon aléatoire dont la taille atteint 11 par 11 (tableau 2).

Le ratio de cohérence (RC) est donné par la formule suivante :

$$RC = IC / I$$

D'après Saaty (1990), si RC est supérieur à 10 %, il manquerait de cohérence dans les comparaisons par paires et alors la matrice issue des comparaisons, devra être réévaluée.

2.2.1.3. Agrégation des facteurs par combinaison linéaire pondérée (clp)

Une fois que la pondération des facteurs a été établie, on est passé à l'évaluation multicritère ou l'agrégation. Selon Roy (1985), on classe les méthodes d'agrégation en trois approches opérationnelles : l'approche du critère unique de synthèse (agrégation complète), évacuant toute incomparabilité, l'approche du sur-classement de synthèse (agrégation partielle), acceptant l'incomparabilité et l'approche du jugement local itératif avec interactions essayer-erreur (agrégation locale) dont la technique est de partir d'une solution de départ (aussi bonne que possible) et de voir "autour" de cette solution s'il n'y en a pas de meilleure.

Chaque méthode multicritère possède ses avantages et ses inconvénients. Pour notre travail, la méthode multicritères que nous avons adopté est l'analyse hiérarchique de Saaty (1980), qui fait partie des méthodes d'agrégation complète. Cette méthode permet d'agréger n critères afin de les réduire en un critère unique. Elle présente l'avantage et la capacité à structurer tout en fusionnant de manière éclairée les diverses opinions exprimées dans le processus de décision (Saaty, 1980).

L'agrégation des sept facteurs a été réalisée par la fonctionnalité de la somme pondérée sous ArcGIS. Cette dernière fait appel à la Combinaison Linéaire Pondérée CLP (algorithme Weighted Linear Combination WLC) très employée pour résoudre les problèmes multicritères, notamment les modèles d'aptitude et la sélection de sites (Balzarini, 2013). Le calcul effectué par la somme pondérée a défini l'indice d'aptitude à l'enfouissement pour chaque pixel de la zone d'étude. Cet indice détermine la capacité dont dispose une zone pour remplir ou non une fonction souhaitée (Caloz et Colet, 2008). Cette dernière

phase de l'évaluation multicritère nous a permis d'établir la carte d'aptitude à l'enfouissement des déchets ménagers de la commune d'El Affroun.

2.2.2. Sélection des sites à faible sensibilité paysagère

Après élaboration de la carte d'aptitude à l'enfouissement de la commune d'El Affroun, vient la deuxième étape du processus, l'évaluation de la sensibilité paysagère des sites identifiés par l'évaluation multicritère aptes à la pratique.

La sensibilité du paysage est l'un des indicateurs d'évaluation du paysage visible. Cette dernière s'appuie sur la modélisation de la visibilité, souvent incluse dans les systèmes d'information géographique. Il s'agit de module de calcul permettant la caractérisation des relations de visibilité.

Selon Sauter (2011), la sensibilité du paysage permet de caractériser le paysage dans sa longueur, du proche au lointain et définit les espaces fermés et ouverts. Elle est évaluée à partir des mesures brutes de soumissions visuelles déclinées selon les trois plans : proches, moyens et lointains. Chaque point de l'espace est caractérisé par l'intensité de sa soumission pour chacune des plages de distance : non vu (caché) ou vu depuis le premier, le second et le troisième plan. Ainsi, les intensités de soumission dans chacun des plans permettent d'établir une caractérisation du territoire. Il s'agit de définir si ce lieu est visible de quelque part ou est caché à la vue de tous. S'il est visible, l'est-il de beaucoup d'endroits ? Et jusqu'à quelle distance ? (Sauter, 2011).

3. Résultats

La recherche prospective de sites appropriés à l'activité d'enfouissement est réalisée à partir de l'évaluation des critères d'exclusion (contraintes) et des critères d'appréciation (facteurs) définis dans le cadre de cette étude. Elle a permis par le biais du SIG, l'établissement de la carte d'aptitude à l'activité d'enfouissement des déchets ménagers de la commune d'El Affroun. En effet, les SIG sont largement employés dans la réalisation des cartes de potentialités ou d'aptitudes en répondant aux questions d'aménagement du territoire, de planification régionale et d'impact environnemental (Malczewski, 2004 cité dans Balzarini, 2013). Les sites identifiés aptes à l'enfouissement des déchets ménagers dans la commune d'El Affroun ont fait par la suite l'objet de simulations de visibilité pour éclairer la prise de décision sur les sites de faibles sensibilités paysagères.

Tableau 2. Valeur de l'Indice Aléatoire (IA) (Saaty, 1990)

Nombre de critères (n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

3.1. Critères d'évaluation

3.1.1. Couches contraintes

Les couches contraintes désignent les espaces impropres à l'activité d'enfouissement. Il s'agit des espaces construits ou déjà occupés, les terres fertiles de la Mitidja, le domaine forestier, les zones présentant des caractéristiques géologiques et géotechniques défavorables à l'aménagement (sol instable avec un risque de glissement), les zones présentant des ressources en eaux souterraines importantes et les contraintes de visibilité. Le critère de visibilité étant un des paramètres clef de la présente étude. On a défini les zones suivantes non aptes à l'enfouissement des déchets ménagers :

- Une zone-tampon de 500 m autour des zones résidentielles.
- Une zone-tampon de 200 m autour des voies de communications

Les zones tampons sont définies à partir du constat sur terrain révélant une faible disponibilité de foncier pouvant recevoir un CET (minimum 8 ha pour un CET avec un seul casier). En effet, la partie Nord de la commune est occupée par les terres fertiles de la Mitidja et une bonne partie de la région Sud est occupée par les montagnes.

3.1.2. Couches facteurs

Les couches des facteurs intervenant dans l'aptitude du territoire de la commune d'El Affroun à l'implantation de l'activité d'enfouissement des déchets ménagers ont été standardisées sur une échelle d'aptitude continue de 0 à 10. Il s'agit de :

- la couche d'occupation du sol ;
- la couche des pentes réalisée à partir du Model Numérique du Terrain (MNT) d'El Affroun (Aster digital élévation model V2) ;
- la couche des caractéristiques géologiques et géotechniques ;
- la couche des ressources en eau souterraine ;
- la couche de la perméabilité du sol ;
- la couche de l'exposition visuelle à partir des zones résidentielles, standardisée par la fonction croissante à partir de 500 m (zone non apte à l'enfouissement) jusqu'à une distance favorable de 2 km ;
- la couche d'exposition visuelle à partir des voies de communication, standardisée par la fonction croissante à partir de 200 m jusqu'à la distance favorable de 1 km.

3.2. Pondération et agrégation des facteurs

Les facteurs cités ci-dessus sont pondérés par comparaison par paire. La matrice de comparaison établie a conduit à la matrice de pondération qui nous a permis de définir les vecteurs propres pour chaque facteur (tableau 3).

La comparaison par paire des facteurs indique un indice de cohérence (IC) de 5.88 %, et un ratio de cohérence (RC) égale à 4.45 % < 10 % ; ce qui nous permet d'affirmer que les jugements d'appréciations effectués sont cohérents.

La fonctionnalité de la somme pondérée sous ArcGIS a permis la sommation des valeurs standardisées et pondérées des couches facteurs et l'attribution d'une nouvelle valeur à chaque pixel dans la couche en sortie. Les valeurs représentent des in-

Tableau 3. Matrice de comparaison par paire

Facteurs	Occupation Sol	Géologie	Eau souterraine	Pente	Expo visuelle zones résidentielles	Expo visuelles voies communication	Perméabilité sol	Vecteur propre
Occupation Sol	1	2	3	4	3	5	4	0,32
Géologie	1\2	1	2	3	3	5	4	0,23
Eau souterraine	1\3	1\2	1	3	2	4	3	0,16
Pente	1\4	1\3	1\3	1	1\2	3	2	0,08
Expo visuelle zones résidentielles	1\3	1\3	1\2	2	1	3	2	0,11
Exposition visuelles voies communication	1\5	1\5	1\4	1\3	1\3	1	2	0,05
Perméabilité sol	1\4	1\4	1\3	1\2	1\4	1\2	1	0,05

dices d'aptitudes sur une échelle de 0 à 10. Une reclassification de ces indices en trois classes est réalisée pour une meilleure lisibilité de l'aptitude à l'enfouissement des déchets ménagers dans la commune d'El Affroun (figure 2). Il s'agit de :

- la classe favorable, concerne les cellules ayant une note supérieure ou égale à 8 ;
- la classe moyennement favorable, concerne les cellules qui ont une valeur comprise entre 5 et 8 ;
- la classe défavorable, concerne les cellules ayant une note inférieure à 5.

Ensuite la carte des sites appropriés à l'enfouissement obtenue depuis la figure 2 est combinée avec les cinq couches-contraintes pour éliminer les pixels correspondant aux cinq critères d'exclusion et obtenir au final la carte d'aptitude du territoire de la commune d'El Affroun à l'activité d'enfouissement des déchets ménagers (figure 3). Cette dernière est constituée de : zone favorable, zone moyennement favorable et zone défavorable, dans l'ordre des sites appropriés. On constate que la zone défavorable représente 1,27 % du nombre total des pixels constituant les sites appropriés (6656 pixels). La zone moyennement favorable représente 79,33 % et la zone

favorable représente 19,40 % (tableau 4).

La figure 3 montre que les sites classés favorables sont localisés au Sud-Est de la commune étudiée et ceux classés moyennement favorables, sont principalement localisés dans la partie centre.

3.3 Evaluation de la sensibilité paysagère

Seuls les sites identifiés préalablement favorables à l'enfouissement et ayant une superficie supérieure ou égale à 8 ha ont fait l'objet de simulation de visibilité, ils sont au nombre de trois. Les simulations de la soumission à la vue de ces sites ont été réalisées pour trois plages de distances, 0 et 300 mètres, 300 et 1 500 mètres puis 1 500 et 3 000 mètres. Ces simulations sont réalisées par les fonctions Viewshed analysis à partir du MNT d'El Affroun. Chaque site est caractérisé par l'intensité de sa soumission à la vue suivant deux modalités, pour chacune des plages de distance : non vu ou vu depuis le premier, le second ou le troisième plan. Les sites sont par la suite classés en trois rangs selon leur degré de soumission à la vue (figure 4).

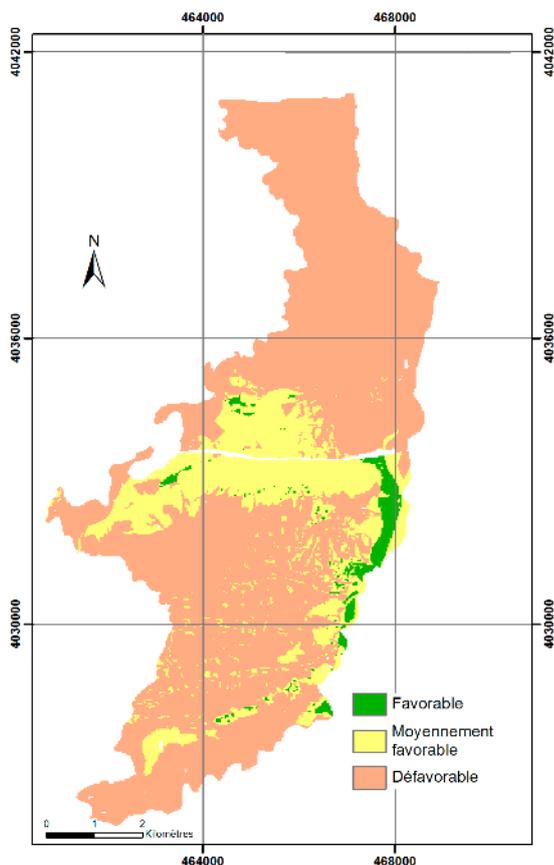


Figure 2. Carte des sites appropriés à l'enfouissement des déchets ménagers (commune d'El Affroun)

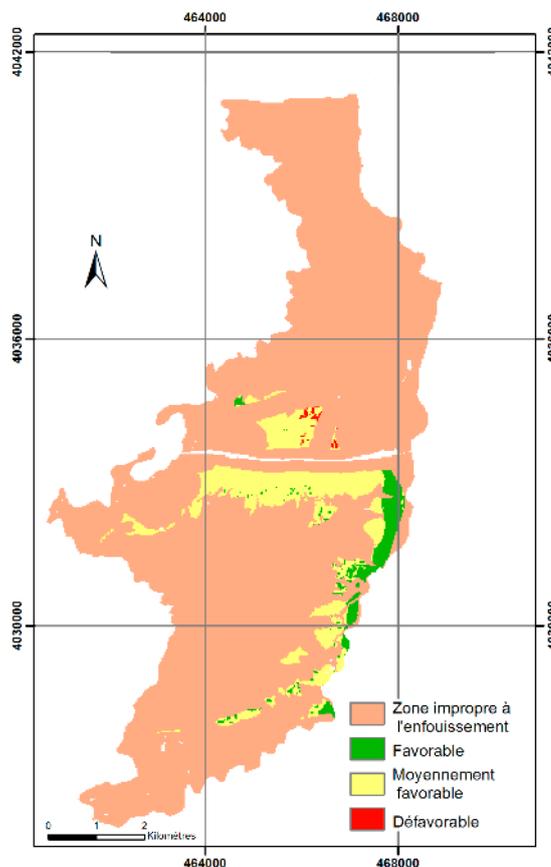


Figure 3. Carte d'aptitude à l'enfouissement des déchets ménagers de la commune d'El Affroun

- les sites visibles depuis le plan lointain (1 500 à 3 000 m), sont classés en sites à sensibilité paysagère nulle ;
- les sites visibles depuis le plan moyen (300 à 1 500 m), sont classés en sites à sensibilité paysagère moyenne ;
- les sites visibles depuis le plan proche (0 à 300 m), sont classés en sites à sensibilité paysagère élevée.

aux collectivités locales en tant que terrains pour le développement futur de la commune (figure 5).

- La zone défavorable (8 ha), classée à sensibilité paysagère élevée car elle est visible à moins de 300 m par l'agglomération secondaire Nhaoua.

La zone favorable de sensibilité paysagère nulle, présente une superficie de 8,63 ha (figure 4). Elle permet l'aménagement d'un CET avec un seul casier d'enfouissement. Par contre la zone moyennement favorable de sensibilité paysagère moyenne présente la plus grande surface potentielle à l'activité, permettant ainsi l'implantation d'un CET avec plusieurs casiers, pour une durée d'exploitation allant jusqu'à 20 ans.

4. Discussion des résultats

Les résultats de ce travail sont obtenus à partir de l'outil d'aide à la décision mis en place avec le couple AMC et SIG. Selon Chakhar (2006) de nombreux arguments identifiés dans la littérature sont en faveur d'une association entre le SIG et l'AMC, permettant ainsi de combler leurs lacunes, d'une part la difficulté pour les SIG à prendre en compte la dimension multicritère inhérente des problèmes à caractère décisionnel et d'autre part, les limites de l'AMC lorsqu'il s'agit de représenter la dimension spatiale des problèmes. Les chercheurs et les spécialistes s'accordent justement sur l'intérêt de conjuguer les potentialités des deux outils pour créer des systèmes d'aide à la décision spatiale plus performants (Balzarini, 2013).

L'intégration du couple AMC - SIG dans le processus de sélection des sites pour l'enfouissement des déchets ménagers, nous a permis d'identifier et de localiser les sites potentiels à l'enfouissement des déchets ménagers dans la commune d'El Affroun, tout en intégrant la dimension sensible du paysage dans la prise de décision.

Cependant, l'évaluation multicritère élaborée a soulevé certaines difficultés dans le choix des poids attribués aux facteurs dans la phase standardisation et aussi, pour définir sur l'échelle de Saaty (1990), l'importance relative de chaque facteur par rapport aux autres dans la phase pondération. Selon Belton (1986) « Bien qu'elle soit relativement performante, la méthode AHP utilisée pour la pondération des critères présente des difficultés. Une de ces difficultés concerne le choix de l'échelle des notes allant de 1 à 9 avec leur correspondance réciproque ». Cette même difficulté peut dans un cadre de concertation devenir un avantage non négligeable de la méthode. En effet, selon Olmedo *et al.*, (2007), ainsi que Caloz et Colet (2008), l'avantage de l'élaboration de la matrice sur la base de la comparaison par paires de Saaty revient au fait qu'elle se prête à une table de discussion réunissant les différents acteurs concernés. Les choix sont alors élaborés collectivement. Dans ce cas d'étude, les appréciations des facteurs considérés sont définies sur la base des données du terrain et des objectifs fixés. Elles ont permis l'élaboration de la matrice de comparaison et de pondération et la définition des vecteurs propres de chaque facteurs et au final l'évaluation multicritère et l'élaboration de la carte des

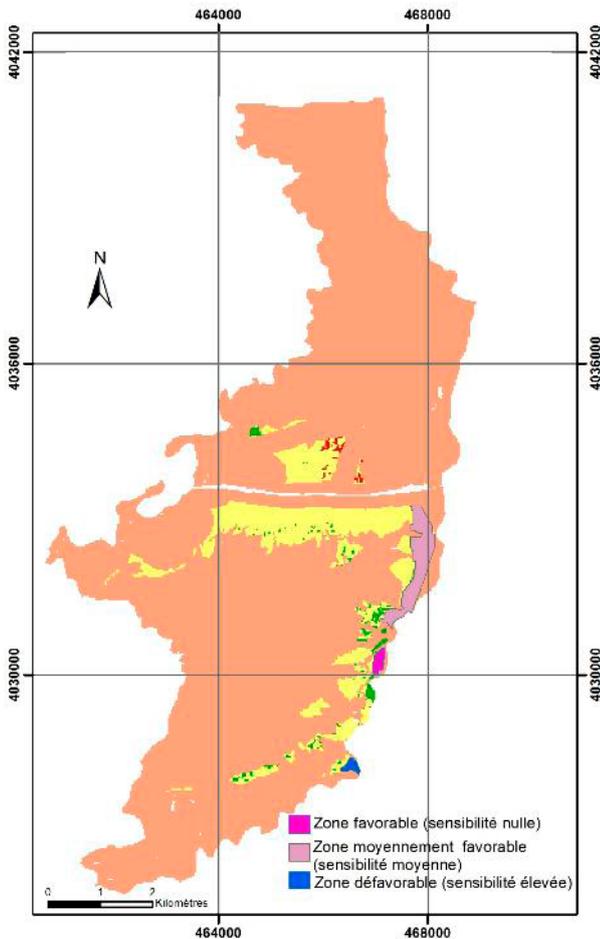


Figure 4. Carte des sites potentiels à l'enfouissement des déchets ménagers dans la commune d'El Affroun

La carte de la figure 4 met en évidence trois catégories de zones :

- La zone favorable (8,63 ha), classée à sensibilité paysagère nulle, car elle n'est pas visible à partir de zones résidentielles ou de voies de communication. Elle est et jusqu'à 3 000 m entourée par la forêt.
- La zone moyennement favorable (70,39 ha), classée à sensibilité paysagère moyenne puisqu'elle est exposée au pôle universitaire d'El Affroun à partir de 1 500 m. Cette zone est entourée par les Exploitations Agricoles Collectives (EAC), cédées

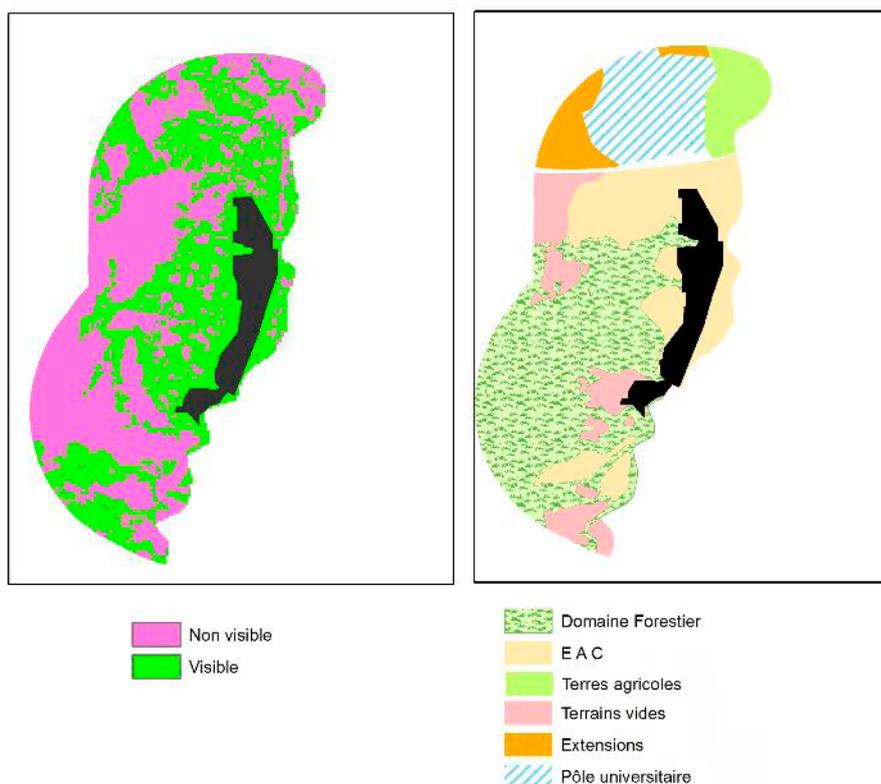


Figure 5. Simulations de visibilité de la zone moyennement favorable (plan moyen 300 à 1 500 m)

sites appropriés à l'enfouissement des déchets ménagers de la commune d'El Affroun (figure 2).

Cependant, la combinaison de la carte des sites appropriés à l'enfouissement avec les couches contraintes a fait diminuer le nombre de pixels des sites favorables de 1509 à 1291 et les sites moyennement favorables de 12667 à 5280 (tableau 4). Soit une diminution totale des deux classes de plus que la moitié (53,65 %). Cette diminution est le résultat du tamisage réalisé pour éliminer les pixels correspondant à l'un des cinq critères d'exclusion intégré au calcul d'aptitude lors de l'agrégation établie par la fonctionnalité de la somme pondérée. Cette dernière fait appel à la CLP. Toutes les deux, font partie des méthodes d'agrégation complète, autorisant la compensation entre critères (Ben Mena, 2000). Ainsi,

la combinaison des résultats de l'évaluation multicritère avec les couches contraintes est nécessaire et influence grandement le résultat final pour un modèle d'aptitude réalisé par une méthode multicritère d'agrégation complète tel que l'AHP.

Seuls les sites des zones classées favorables à l'enfouissement ont fait l'objet de simulation de visibilité. Ils représentent 19,40 % des sites appropriés (tableau 4). Ces sites sont localisés dans la partie Sud-Est de la commune d'El Affroun. Le site validé est celui de la zone moyennement favorable de sensibilité paysagère moyenne ayant une superficie de 70,39 ha et présente un paysage de moyenne soumission à la vue, où le changement opéré par l'aménagement de CET n'aura qu'un impact limité sur le plan visuel (figure 5).

Tableau 4. L'aptitude à l'enfouissement avec et sans la prise en compte des critères d'exclusions (contraintes)

Classe	Sites appropriés à l'enfouissement avant combinaison avec couches contraintes		Sites appropriés à l'enfouissement avant combinaison avec couches contraintes	
	Nombre de pixels	Pourcentage (%)	Nombre de pixels	Pourcentage (%)
Favorable	1 509	2,42	1 291	19,4
Moyennement favorable	12 667	20,33	5 280	79,33
Défavorable	48 113	77,24	85	1,27
Total	62 289	100	6 656	100

CONCLUSION

Le choix de l'emplacement d'un Centre d'Enfouissement Technique (CET) est un problème complexe. Il implique la prise en compte de plusieurs paramètres parmi lesquels la sensibilité paysagère.

La présente étude propose un processus de sélection de sites en intégrant la dimension sensible du paysage dans la prise de décision. Ce processus se base sur deux phases complémentaires. Il s'agit d'une évaluation multicritère (EMC) par méthodes géomatiques utilisant les SIG pour prospecter les sites aptes à recevoir l'activité, suivie d'une évaluation de la sensibilité des paysages des sites retenus.

La sensibilité paysagère a été prise en compte dans les deux phases d'évaluation complémentaires du processus. Pour l'évaluation multicritère, deux critères relatifs au paysage visible ont été intégrés à l'évaluation. Il s'agit de critères d'exposition visuelle, le premier à partir des zones résidentielles et le deuxième à partir des voies de communication. L'importance de ces deux critères dans l'évaluation multicritère est représentée par leur vecteur propre. Ce dernier représente la priorisation du critère à l'issue de la hiérarchisation établie selon l'approche relative à la comparaison par paires (échelle de Saaty (1977)). Les comparaisons par paire des sept facteurs considérés dans notre cas d'étude et leur pondération finale positionnent l'importance du facteur d'exposition visuelle à partir des zones résidentielles (11 %), après la nature de l'occupation du sol (32 %), les caractéristiques géologiques du sol et son aptitude à l'aménagement (23 %) et la présence des eaux souterraines (16 %). Cependant, l'accessibilité visuelle à partir des voies de communications correspond à un vecteur propre relativement faible (5 %), compte tenu des possibilités de mise en place d'écrans artificiels (clôture) ou d'écrans végétaux autour du CET comme barrières visuelles réduisant l'impact de visibilité du site sur les usagers des voies de communications. Nous considérons que l'impact de visibilité du site de stockage des déchets sur un observateur en mouvement (usagers de la route) est moins important que sur un observateur d'une zone résidentielle exposé au casier à partir de sa fenêtre.

Concernant l'application à la commune d'El Affroun, les résultats de l'évaluation multicritère et des simulations de visibilité mises en œuvre avec l'outil SIG sont représentés par la carte des sites potentiels à l'enfouissement (figure 4). Cette carte a permis d'identifier et de localiser les sites potentiellement propices à l'activité d'enfouissement, non seulement sur le plan environnemental et foncier, mais aussi sur le plan paysager.

Références bibliographiques

- ASTER Global Digital Elevation Model Version 2 (GDEM V2). NASA. ASTER Advances Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer [en ligne]. Disponible sur : <http://asterweb.jpl.nasa.gov>
- Balzarini R. (2013). Approche cognitive pour l'intégration des outils de la géomatique en sciences de l'environnement : Modélisation et évaluation. Thèse de doctorat en Informatique, Université de Grenoble, École Doctorale Ingénierie de la Santé, la Cognition et l'Environnement de Grenoble, 327 p. En ligne : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00949127>
- Belton V. (1986). A comparison of the analytic hierarchy process and a simple multi-attribute value function. *European Journal of Operational Research*, (26), pp: 7–21. DOI : [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(86\)90155-4](https://doi.org/10.1016/0377-2217(86)90155-4)
- Ben Mena S. (2000). Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 4 (2), pp : 83–93. En ligne : <http://www.bsa.ulg.ac.be/ojs/index.php/base/article/view/107>
- Caloz R. et Collet C. (2011). Analyse spatiale de l'information géographique. Lausanne : Presse Polytechniques et Universitaires Romandes. 383 p.
- Chaaban F. (2011). Apport potentiel des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) pour une meilleure gestion d'un littoral dans une optique de développement durable approches conceptuelles et méthodologiques appliquées dans le Nord de la France. Thèse de doctorat en Sciences et technologie, Université des sciences et technologie de Lille, 198 p. En ligne : <http://ori.univ-lille1.fr/notice/view/univ-lille1-ori-23203>
- Chakhar S. (2006). Cartographie décisionnelle multicritère : Formalisation et implémentation informatique. Thèse de doctorat en Informatique, Université Paris Dauphine, D.F.R. Sciences des organisations, 300 p. En ligne : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00143960>
- El Mordjani Z. (2003). 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 en Sciences, Université de Genève, Faculté des sciences, 462 p. En ligne : ftp://ftp.unine.ch/Bouzelboudjen/ElMorjani_PhD2002_UNIGE/Memoire_pdf/All/ZE_these_all.pdf
- Graillot D., Waaub J-P. (2006). Aide à la décision pour l'aménagement du territoire : méthode et outils. Paris : Hermès, Lavoisier. 437 p.
- Kedowide Mevo Guezo C-G. (2011). SIG et analyse multicritère pour l'aide à la décision en agriculture urbaine dans les pays en développement, cas de Ouagadougou au Burkina Faso. Thèse de doctorat en Aménagement de l'espace, urbanisme, Université Paris 8 Vincennes – Saint-Denis, Ecole doctorale sciences sociales, 301p. En ligne : <http://www.theses.fr/2011PA083399>
- Matet. (2005). Guide pour le choix des sites des centres d'enfouissement technique des déchets ménagers, Alger.

Olmedo M.T.C., Paegelow M. et Martínez P.G., (2007). Modélisation géomatique rétrospective des paysages par évaluation multicritères et multi objectifs. *Cybergeo : Revue européenne de géographie*, (365). DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeo.4811>

Paquette S., Poullaouec-Gonidec P, Domon G. (2008). Guide de gestion des paysages au Québec. Lire, comprendre et valoriser le paysage. Québec: Chaire en paysage et environnement et Chaire UNESCO de l'Université de Montréal, 97 p. En ligne : <https://www.mcc.gouv.qc.ca/fileadmin/documents/publications/guide-gestion-paysage.pdf>

Roy B. (1985). Méthodologie multicritère d'aide à la décision. Paris : *Economica*, 423 p.

Saaty T. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15 (3), pp : 234–281. DOI : [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)

Saaty T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting*. New York : McGraw-Hill.

Saaty T. (1984). Décider face à la complexité : Une approche analytique multicritère d'aide à la décision, Paris : ESF, 223 p.

Saaty T. (1990). How to make a decision : The analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48 (1), pp : 9 – 26 DOI : [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-i](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-i)

Sauter A. (2011). Evaluation du paysage et politique publique Franche-Comté : Application à l'agglomération de Montbéliard et à la commune de Morez (Franche-Comté). Thèse de doctorat en Géographie, Université Franche-Comté, 303 p. En ligne : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00910153/>