

La proposition d'un plan d'aménagement hydro-agricole (cas du bassin versant El Khrioua – gouvernorat du Kairouan)

Olfa Hajji¹, Ala Bougeurra¹; Saleh Jelliti

(1) Ecole supérieure des ingénieurs de Medjez El Bab, Tunisie,

(2) Commissariat Régional De l'Agriculture du Kairouan

Résumé

La Tunisie fait face à un des plus sérieux problèmes de l'érosion du sol d'origine hydrique. En effet, l'érosion du sol présente l'un des plus importants problèmes environnementaux vu la complexité des facteurs qui y régissent et son impact direct sur la productivité agricole et les moyens de subsistance des populations locales.

Cette étude consiste à élaborer un plan d'aménagement antiérosif contenant plusieurs scénarios consistent à diminuer le taux d'érosion dans le bassin versant de l'oued Khrioua.

Le modèle adopté au cours de cette étude est le modèle de RUSLE qui est couramment utilisé pour calculer les pertes annuelles moyennes en sol unité de surface terrestre résultant de l'érosion. Cette perte dépend de plusieurs facteurs à savoir : l'érosivité des pluies, l'érodabilité du sol, le couvert végétal, la topographie et les pratiques antiérosives.

L'analyse, la combinaison des données et la modélisation ont été opérées dans un Système d'Information Géographique (SIG). La superposition des couches d'information sur les précipitations, les sols, la topographie et le couvert végétal, permettent d'obtenir une carte qui présente l'aléa moyen de l'érosion en t/ha/an par unité spatiale et par la suite la détermination de l'impact des scénarios des aménagements proposés sur le taux de l'érosion. En effet on trouve que le taux moyen de l'érosion est égale 7.27 et que la combinaison de tous les scénarios (Scénario 1 : Techniques culturales conservatrices et Scénario 2 : Aménagements des terres en pente et des cours d'eau) est la solution optimale ($E=2.14t/ha/an$), mais il reste préférable de choisir le deuxième scénario (Aménagements des oliviers par des cuvettes et Implantation des banquettes à rétention) vu qu'il est le moins coûteux (4439.85mDT) et son résultat ($E=5.01t/ha/an$) est aussi acceptable pour une lutte efficace contre l'érosion hydrique.

Mots clés : Érosion hydrique, Bassin Versant, Modélisation, RUSLE, SIG, Aménagements antiérosifs.

The proposal for a hydro-agricultural development plan (case of the watershed El Khrioua – Kairouan governorate).

Abstract

Tunisia is facing one of the most serious problems of soil erosion due to water. Indeed, soil erosion presents one of the most important environmental problems given the complexity of the factors that govern it and its direct impact on the agricultural productivity and livelihoods of local population. This study consists of developing an anti-erosive management plan containing several scenarios to reduce the rate of erosion in the El Khrioua watershed.

The model adopted in this study is the RUSLE model, which is commonly used to calculate average annual soil loss land surface unit resulting from erosion. This loss depends on several factors: the erosivity of the rains, the erodibility of the soil, the vegetation cover, the topography and the anti-erosion practice. The analysis, the combination of the data and the modelling were carried out in a Geographic Information System (GIS). Overlaying information layers on precipitation, soils, topography and vegetation cover, provide a map showing the average risk of erosion in t/ha/year per spatial unit and subsequently the determination of the impact of the proposed development scenarios on the rate of erosion. Indeed, the average rate of erosion is found to be 7.27 t/ha/year and the combination of all scenarios (scenario 1: Conservative Farming Techniques and scenario 2: Slope and Stream Development) is the optimal solution ($E=2.14 t/ha/year$), but it remains preferable to choose the second scenario (arrangements of olive trees by basins and installation of retention benches) as is less expensive (4439.85mDT) and its results ($E=5.01 t/ha/year$) is also acceptable for effective control of water erosion.

Key Words: Water erosion, Watershed, Modelling, RUSLE, GIS, Anti-erosion developments.

¹ Corresponding author: olfa.hajji@yahoo.fr

INTRODUCTION

L'érosion hydrique est un phénomène complexe très répandu dans la région de la Méditerranée, touchant particulièrement la Tunisie et menace les ressources en eau et en sol du pays. En effet, les caractéristiques physiques et climatiques de la Tunisie sont favorables pour le déclenchement du phénomène de l'érosion hydrique qui a été accélérée par les conditions socio-économiques.

Ainsi pour assurer l'avenir agricole du pays, il était nécessaire de procéder à une lutte anti-érosive pour conserver les ressources naturelles. Cette lutte antiérosive lors de son début vers les années 60 n'était ni ciblée ni organisée suivant une planification jusqu'à la mise en œuvre de la stratégie nationale de conservation des eaux et du sol (CES), à partir de 1990.

Pour la mise en œuvre de cette stratégie, il est nécessaire de procéder à l'élaboration de plans d'aménagement CES pour différentes régions (gouvernorats, délégations, bassins versants) et à différentes échelles. L'élaboration de ces plans d'aménagement CES, est basée en particulier sur la modélisation de l'érosion. Elle est devenue une nécessité pour les décideurs afin de pouvoir cibler les zones à risques et opter pour des solutions adéquates. La modélisation de l'érosion a commencé par les modèles empiriques comme l'équation universelle des pertes en sol USLE et sa version révisée RUSLE.

D'autre part, la cartographie de l'érosion est un outil fondamental pour connaître la répartition et l'ampleur géographique du phénomène. Ainsi, l'intégration des modèles empiriques existant avec les nouvelles techniques de spatialisation comme la télédétection et les Systèmes d'Informations Géographiques SIG ont permis de minimaliser les coûts financiers et de gagner le temps nécessaire de cartographier les risques.

Dans ce cadre s'inscrit le présent sujet de projet de fin d'études intitulé Plan d'aménagement hydro-agricole de bassin versant El Khrioua. Cette étude a pour objectif de proposer des scénarios des aménagements de conservation des eaux et du sol et de déterminer leurs impacts sur l'érosion.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de l'oued Khrioua qui est un affluent de l'oued Zaher, affluent nord de l'oued Nebhana dont la confluence avec celui-ci est située à une dizaine de kilomètres avant son embouchure sur Sebkhath El Kalbia touche administrativement 2 délégations :

- La délégation de Nadhour : appartient au gouvernorat de Zaghouan contrôle 90% de la superficie du bassin versant.
- La délégation de Sbikha : appartient au gouvernorat de Kairouan contrôle 10% de la superficie du bassin versant.

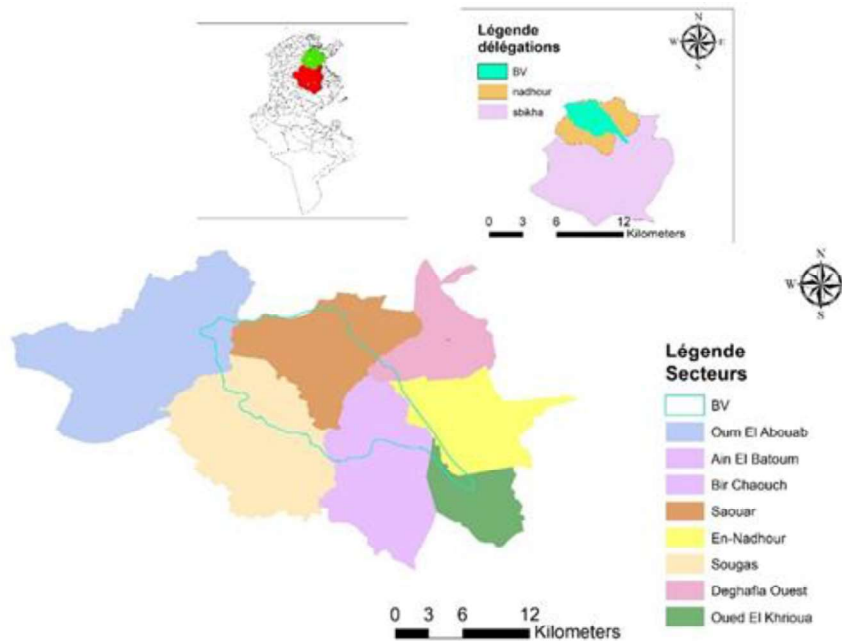


Fig. 1 - Localisation de la zone d'étude

Le bassin versant de l'oued Khrioua est caractérisée par un climat semi-aride (pluviométrie annuelle de l'ordre de 332.54 mm). Il s'étend sur une superficie de 139 Km². Ce bassin est occupé principalement par des forêts (33.04 %) et des cultures annuelles (49.14 %), il est caractérisé par des sols peu évolués et des unités complexes de sol (62.07 % de la superficie totale). Le bassin versant El Khrioua a un relief assez fort. (Ds = 190m).

L'érosion hydrique est l'une des formes de dégradation des terres arables. Elle est divisée en deux types, éolienne et hydrique. Elle résulte d'un ensemble de processus complexes et interdépendants caractérisés par trois phases (détachement, transport et sédimentation).

Il existe deux principaux facteurs qui provoquent l'érosion hydrique, les facteurs anthropiques relatifs aux activités humaines (l'intensification de l'agriculture, croissance démographique, le surpâturage et la déforestation). A partir de la carte des aménagements, on a déterminé que les banquettes sont les seuls aménagements dans le bassin versant avec 7.5 % de la superficie totale. En effet 92.5 % de la superficie du bassin versant n'est pas aménagée.

Méthodologie de travail

L'étude de sensibilité à l'érosion est d'une grande utilité dans l'élaboration des plans d'aménagement anti-érosifs, du fait qu'elle permet la détermination des zones les plus sensibles à l'érosion qui nécessitent une intervention prioritaire pour préserver le patrimoine sol et par conséquent assurer la durabilité du développement agricole. Pour l'évaluation de l'érosion hydrique à l'échelle de bassin versant oued El Khrioua, on a utilisé l'équation universelle de perte en sol révisée (RUSLE). Il s'agit d'une approche systémique basée sur une méthode multicritère permettant de dresser des cartes indicielles numérisées.

La première étape consiste à collecter et à cartographier les différents facteurs intervenant dans l'estimation de l'érosion en utilisant un SIG. Ces couches sont converties par la suite sous forme raster (Raster) avec le logiciel ArcGIS pour pouvoir les manipuler et les combiner. Ce dernier nous permet de visualiser, d'explorer, d'interroger et d'analyser les données spatiales.

Pour estimer les pertes en sols, il faut suivre les étapes suivantes :

D'abord, il faut élaborer la carte du facteur topographique combiné LS la combinaison du facteur inclinaison S et la longueur L de pente. Ensuite, calculer le facteur érosivité des pluies R à partir des données

pluviométriques. Puis, l'élaboration de carte de facteur d'érodabilité du sol K, couverture végétale C et pratiques antiérosives P à partir de carte pédologique, occupation de sol et aménagements existants. Enfin, en combinant les cinq cartes on obtient la carte des pertes en sols.

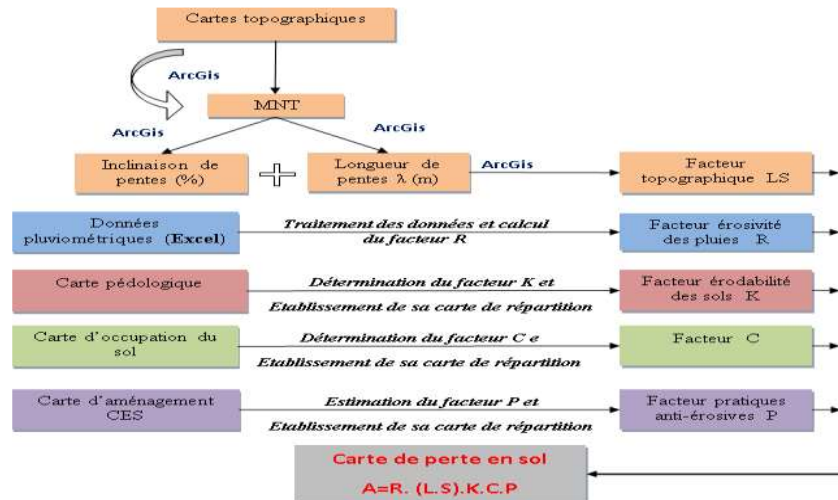


Fig. 2 - Organigramme méthodologique de l'intégration de l'équation universelle de perte en sol dans le SIG (Wazzani, 2013).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Quantification des pertes en sol

Afin de déterminer les zones sensibles à l'érosion dans le bassin versant, il est intéressant d'utiliser l'approche RUSLE/SIG qui est basée sur l'utilisation de la télédétection et de la cartographie. En effet, pour aboutir à la carte des pertes en sols du bassin, nous avons élaboré d'abord les cartes associées à chaque facteur dans l'équation de RUSLE.

Tout d'abord, pour le calcul de l'érosivité des pluies R, nous avons utilisé les données disponibles concernant les précipitations dans les stations qui se trouvent à proximité de bassin versant sont des moyennes mensuelles et annuelles, nous prenons leurs valeurs pour la même période (1989 - 2019). Nous avons trouvé un indice R égal 515 MJ. mm/ha.h.an.

Ensuite nous avons déterminé les valeurs du facteur érodabilité du sol K à partir des cartes pédologiques du bassin versant. Les valeurs de K varient de 0,01 pour les Vertisols à 0,08 pour les sols peu évolués d'apport.

Quant aux valeurs du facteur LS, elles sont déterminées par la combinaison du facteur inclinaison S et la longueur L de pente.

Le bassin versant El Khrioua présente un facteur LS compris entre 0 et 14.9.

Pour le facteur C, la répartition spatiale montre la sensibilité des différents types d'occupation des sols vis-à-vis des processus érosifs hydriques. Les occupations des sols les moins exposées à l'érosion sont associées aux coefficients les plus faibles et vice-versa. À partir de la carte d'occupation des sols, nous déterminons la carte du facteur C qui varie de 0.104 à 0.7.

En outre, le facteur P est associé aux aménagements antiérosifs existants. Pour le bassin versant El Khrioua, nous trouvons une zone aménagée par des banquettes dont le facteur P est de 0.1, le reste est non aménagé ayant un facteur P égal à 1.

Enfin, la combinaison des cartes des différents facteurs intervenant dans l'érosion hydrique a permis d'obtenir la carte quantitative de l'aléa d'érosion des sols en tout point du bassin versant.

La combinaison des cartes des différents facteurs du modèle RUSLE intervenant dans l'érosion hydrique permet d'obtenir la carte des pertes en sols en tout point du bassin versant (fig.3).

La figure n°3 présente la répartition des pertes en sols du bassin versant :

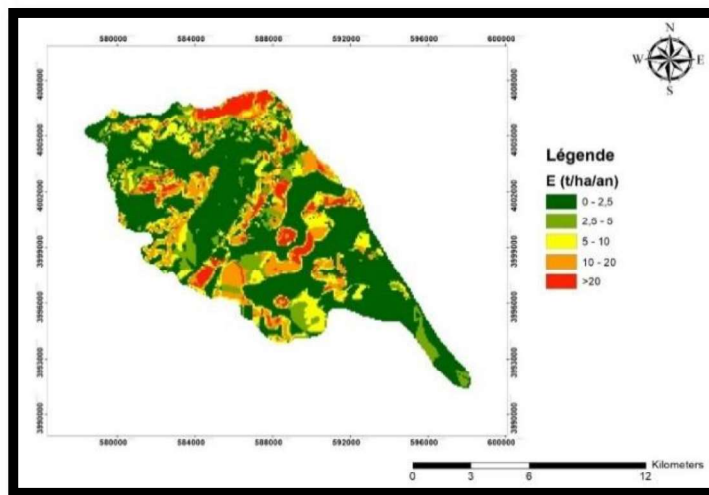


Fig. 3- Carte de répartition spatiale des pertes en sol du bassin versant EL Khrioua. La carte obtenue montre le taux d'érosion que le taux de l'érosion varie entre 0 et plus 20 t/ha/an répartie sur toute la surface du bassin versant avec une moyenne de l'ordre 7.27 t /ha/an. On remarque que les zones ayant une forte pente subissent de fortes érosions hydriques. Le tableau n°1 représente les superficies selon les classes de l'intensité des pertes en sol calculées au niveau du bassin versant.

Tableau 1 - Répartition des superficies des pertes en sol selon les classes adoptées

| Perte en sol (t/ha/an) | Superficie (ha) | Superficie (%) | Intensité de l'érosion |
|------------------------|-----------------|----------------|------------------------|
| 0 - 2,5 | 8596 | 62 | Très faible |
| 2,5 - 5 | 977 | 7 | Faible |
| 5 - 10 | 1848 | 13 | Moyenne |
| 10 - 20 | 1644 | 12 | Forte |
| >20 | 863 | 6 | Très forte |

Dans ce travail, on a classé l'érosion selon 5 classes selon la classification de Masson (1971). En effet, cette dernière classification est la plus adaptée au contexte semi-aride de la Tunisie. Nous constatons que la majorité de la superficie du bassin versant (69 %) est faiblement vulnérable à l'érosion hydrique, alors que les zones le plus sensibles à ce phénomène couvrent 31% en superficie.

3.2. **Élaboration du plan d'aménagement**

Afin de réduire l'érosion hydrique dans le bassin versant étudié, nous allons proposer quelques scénarios des aménagements antiérosifs et analyser leurs impacts sur la perte en sol. Trois scénarios seront traités dans cette étude :

Scénario 1 : Techniques culturales conservatrices.

Scénario 2 : Aménagements des terres en pente et des cours d'eau.

Scénario 3 : Combinaison des divers scénarios étudié.

Les impacts de trois scénarios sur le taux d'érosion diffèrent d'un scénario à un autre. Pour bien comprendre l'effet de chaque scénario sur l'érosion hydrique et en le comparant avec l'état actuel, on procède à la figure n°4 qui traduit le tableau n°2

Tableau 2 - Pourcentage des superficies affectées par l'érosion selon les scénarios

| Scénario Classes (t/ha/an) | Contexte actuel (%) | Techniques culturales conservatrices (%) | Aménagements des terres en pente et des cours d'eau (%) | Combinaison des deux scénarios (%) |
|----------------------------------|---------------------------|---|---|---------------------------------------|
| 0 - 2,5 | 62 | 75 | 82 | 95 |
| 2,5 - 5 | 7 | 5 | 4 | 2 |
| 5 - 10 | 13 | 9 | 6 | 2 |
| 10 - 20 | 12 | 8 | 5 | 1 |
| > 20 | 6 | 4 | 3 | 1 |

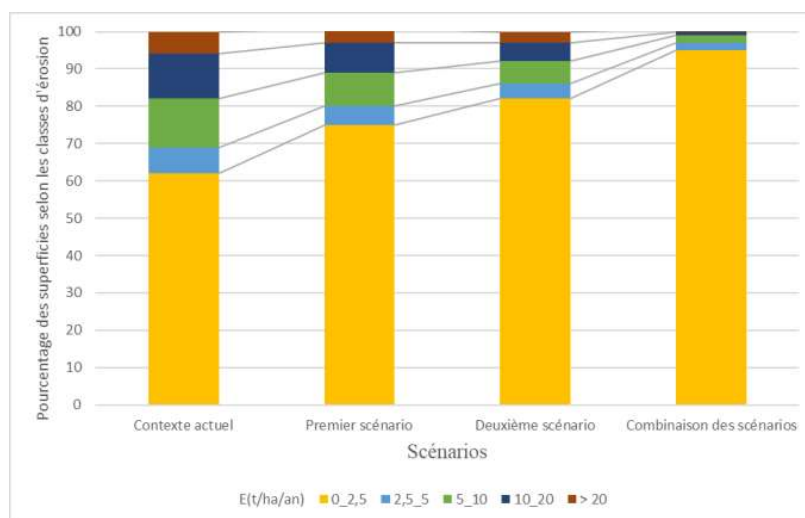


Fig. 1 - L'effet des scénarios sur les classes d'érosion du bassin versant El khrioua

Pour le contexte actuel du bassin El Khrioua, l'érosion très faible et faible occupent respectivement 62% et 7% de la surface totale tandis que la superficie affectée par une érosion moyenne occupe seulement 13 % et le reste de la superficie est occupées par l'érosion forte et très forte (18 %).

Après avoir suivi le premier scénario « Techniques culturales conservatrices », 75% de la surface totale sont affectées par un degré d'érosion faible (entre 0 et 2.5 t/ha/an), en contrepartie, la superficie ayant un degré d'érosion élevé (>10 t/ha/an) diminue à 6%.

Le deuxième scénario « Aménagement des terres en pente et des cours d'eau » donne 82% et 4% de la superficie du bassin menacées par des pertes en sols très faibles (entre 0 et 2.5 t/ha/an) et faible (entre 2.5 et 5 t/ha/an), respectivement ; tandis que les pertes en sols moyenne occupent 6% et le taux élevé des pertes par érosion n'affecte que 8 % de la superficie du bassin El Khrioua. Ce qui nous donne des résultats appréciables.

La combinaison des scénarios a donné 95%, 2% et 2% de la superficie occupée par une érosion très faible, faible et moyenne respectivement, alors que l'érosion élevée n'affecte que 2% du bassin. En comparant finalement les différents scénarios, nous pouvons conclure que la combinaison des scénarios donne des résultats meilleurs par rapport aux autres scénarios.

CONCLUSION

Le bassin versant de l'oued Khrioua appartient à deux délégations : Nadhour et Sbikha qui est caractérisée par un climat semi-aride (pluviométrie annuelle de l'ordre de 332.54 mm). Il s'étend sur une superficie de 139 Km². Ce bassin est occupé principalement par des forêts (33.04 %) et des cultures annuelles (49.14 %), il est caractérisé par des sols peu évolués et des unités complexes de sol (62.07 % de la superficie totale).

L'érosion hydrique des sols résulte de divers processus que sont le détachement, le transport et la sédimentation. Ce phénomène est souvent renforcé par les modifications paysagères apportées par l'homme et résultant par exemple de l'intensification de l'agriculture, du surpâturage, de la déforestation, de croissance démographique.

Les conséquences de l'érosion sont multiples et variées telles que la dégradation des terres agricoles, l'appauvrissement du sol en éléments nutritifs, l'envasement des infrastructures hydrauliques et l'augmentation des risques des inondations.

Notre étude vise à déterminer la distribution spatiale des pertes en terres dans le bassin versant El Khrioua, et la comparaison portera sur la situation actuelle et celles relative à des propositions des nouveaux aménagements.

La méthode de travail combine le modèle de prévision des pertes en terre (RUSLE) avec le système d'information géographique (SIG). Cette procédure permet de donner une dimension dynamique aux informations du terrain et de simuler les situations les plus réalistes.

Concernant le contexte actuel, on a trouvé que la majorité de la superficie du bassin versant (69 %) est faiblement vulnérable à l'érosion hydrique, alors que les zones le plus sensibles à ce phénomène couvrent 31% en superficie.

On a analysé des différents scénarios d'aménagement antiérosif et leurs impacts sur les pertes en sol.

- **1er scénario** : Technique culturales conservatrices (Consolidation biologique des banquettes, reboisement et amélioration des parcours), qui a baissé la valeur moyenne de l'érosion de 7,27 t/ha/an jusqu'à 6,11 t/ha/an.

- **2ème scénario** : Aménagements des terres en pente et des cours d'eau (Aménagement des oliviers par des cuvettes et l'implantation des banquettes à rétention) ce qui produit une diminution de la valeur moyenne de l'érosion jusqu'à 5,01 t/ha/an.

- **3ème scénario** : consiste à combiner les deux scénarios précédents La nouvelle valeur de l'érosion moyenne est 2,14 t/ha/an.

Nous avons conclu que la combinaison des tous les scénarios est techniquement considérée la meilleure proposition pour réduire et diminuer la gravité du phénomène d'érosion, alors qu'économiquement c'est le deuxième scénario (chaque scénario coûtera successivement environ 8754.6 mDT, 4439.85 mDT et 13194.45 mDT).

Donc le deuxième scénario « Aménagements des terres en pente et des cours d'eau » est le scénario idéal pour une lutte efficace contre l'érosion hydrique. Enfin ce projet a pu atteindre son objectif d'évaluer, à l'échelle de bassin versant de l'oued Khrioua, le taux d'érosion, de délimiter les zones à différentes classes de risque, de proposer des scénarios d'aménagements et étudier leurs et leurs impacts sur les pertes en sol afin de choisir le scénario optimal.

Références

- [1] HAJJI O., ABIDI S., HERMASSI T. AND MEKNI I., 2017. Evaluation of Water Erosion Risk in Tunisian Semi-Arid Area. Water Resources in Arid Areas: The Way Forward, Springer Water Book. DOI: 10.1007/978-3-319-51856-5. pp 215-249.
- [2] HAJJI O., ABIDI S., HABAIEB H. and MAHJOUB M. R., 2015. Cartographie des risques d'envasement des lacs collinaires de la Tunisie centrale, Geo-Sp Publication Mag, Vol. 4 N. 8, pp. 62-80.
- [3] HAJJI O., ABIDI S., HERMASSI T., MAHJOUB MR., HABAIEB H., 2014. Influence of spatio-temporal variability of soil surface states on the watershed hydrology behavior. Case study of El Hnach watershed (Tunisian semi-arid). International Research Journal of Public and Environmental Health Vol.1 (2), I.F. 0.386, pp. 63-69.
- [4] AL ALI Y., 2007. Les aménagements de conservation des eaux et des sols en banquettes : Analyse, fonctionnement et essai de modélisation en milieu méditerranéen (El-Gouazine, Tunisie Centrale) : Thèse de doctorat, l'Université Montpellier II, Ecole Doctorale : SIBAGHE, p. 1-8.
- [5] CRDA-Kairouan., Système de codage des paramètres du milieu physique (Gouvernorats du Centre Ouest).
- [6] CRDA-Kairouan., 2013. Etude d'un plan d'aménagement dans le gouvernorat de Kairouan – version provisoire.
- [7] CRDA-Zaghuan., 2014. Etude de planification des aménagements CES dans le gouvernorat de Zaghuan.
- [8] DG/ACTA., 2016. Elaboration de la stratégie de conservation des eaux et du sol de la Tunisie- Diagnostic et analyse évaluative- Rapport n°1 : Rapport de synthèse page 6.
- [9] DG/ACTA., 2017. Elaboration de la stratégie de conservation des eaux et des sols de la Tunisie
- [10] Georges Y., 2008. Evaluation de l'érosion dans le bassin versant de la rivière Grise (Haïti). Master en gestion des risques naturels, Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique.