

## COMPARAISON DES RESULTATS DE L'APPROCHE PAP/CAR ET LE MODELE USLE DANS LA CARTOGRAPHIE ET L'ESTIMATION QUALITATIVE DE L'EROSION HYDRIQUE DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED AMLIL, (PRERIF - MAROC)

*Aïman Hili<sup>1</sup>, Yahia El Khalki<sup>1</sup>, Hanane Reddad<sup>1</sup>, Jaouad Gartet<sup>2</sup> Mohamed Abahrour<sup>2</sup>*  
Faculté des Lettres et des Sciences Humaines

### RESUME

Le présent travail expose les résultats de notre étude concernant la cartographie et l'estimation de l'érosion hydrique selon deux types de méthodes. La première, est celle de PAP/CAR 1998 agisse dans le cadre du Plan d'action pour la Méditerranée (PAM) du PNUE, la seconde est celle du modèle empirique de WISCHMEIER et SMITH 1978 (USLE). Dans le bassin versant de l'Oued Amlil (153.7 km<sup>2</sup>) situé au Nord-Ouest de Taza (Nord-Est du Maroc), toutes les conditions de déclenchement et d'accélération de l'érosion hydrique sont présentes, des formations lithologiques marneuses tendres et imperméables (71.5%), un couvert végétal très limité (13.2%), et des précipitations agressives et intenses. L'analyse des données naturelles du bassin versant par la méthode de PAP/CAR a permis d'identifier cinq principaux types d'érosion (érosion très élevée 23%, 48% pour l'érosion élevée, la classe d'érosion notable représente 22%, 6% et 1% pour les classes d'érosion faibles et très faible respectivement. Ensuite, les pertes en sol ont été estimées par la méthode d'USLE, les résultats obtenus permettent l'identification des secteurs à l'échelle du bassin où les pertes connaissent des valeurs élevées 62.3% (risque forte entre 66 et 102 t/ha/an (34%), et très fort (26.2%) entre 102 et 355.6 t/ha/an).

**Mots Clés :** érosion hydrique, dégradation, PAP/CAR, USLE, SIG, Oued Amlil, Prérif, Maroc.

### COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENFOQUE "PAP/CAR" Y EL MODELO DE USO EN LA CARTOGRAFÍA Y ESTIMACIÓN CUALITATIVA DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA ZONA DE CAPTACIÓN DEL WADI AMLIL, (PRERIF - MARRUECOS)

#### RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados de nuestro estudio sobre la cartografía y la estimación de la erosión del agua utilizando dos tipos de métodos. El primero es el del PAP/RAC 1998 que actúa en el marco del Plan de Acción para el Mediterráneo (PAM) del PNUMA, el segundo es el del modelo empírico de WISCHMEIER y SMITH 1978 (USLE). En la cuenca del Oued Amlil (153,7 km<sup>2</sup>) situada al noroeste de Taza (noroeste de Marruecos) se dan todas las condiciones para que se desencadene y se acelere la erosión hídrica, las formaciones litológicas margosas blandas e impermeables (71,5%), una cobertura vegetal muy limitada (13,2%) y unas precipitaciones agresivas e intensas. El análisis de los datos naturales de la cuenca por el método PAP/CAR ha identificado cinco tipos principales de erosión (erosión muy alta 23%, erosión alta 48%, la clase de erosión significativa representa el 22%, 6% y 1% para las clases de erosión baja y muy baja respectivamente. Luego, las pérdidas de suelo fueron estimadas por el método USLE, los resultados obtenidos permiten identificar sectores a escala de cuenca donde las pérdidas tienen valores altos de 62.3% (alto riesgo entre 66 y 102 t/ha/año (34%), y muy altos (26.2%) entre 102 y 355.6 t/ha/año).

**Palabras clave:** erosión hídrica, degradación, PAP/CAR, USLE, SIG, Oued Amlil, Prérif, Marruecos.

<sup>1</sup> Laboratoire : Dynamiques des Paysages, Risques et Patrimoine. Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Email : [ayman.hili.1984@gmail.com](mailto:ayman.hili.1984@gmail.com)

<sup>2</sup> Faculté Polydisciplinaire Taza, Maroc. Labo. Espace, Histoire, Dynamique et Développement Durable.

## 1.INTRODUCTION

Le Rif en général a subi au cours de ces derniers décennies des dégradations intenses (HEUSCH 1970, TRIBAK 1997 et 2000, FALEH et MAKTITE 2014, FALEH et SADIKI 2002, SABIR et AL., 2004, SADIKI et al., 2004, 2009 et 2012, SADIKI 2005, BACHAOUI et AL., 2007, EL GAROUANI et al., 2008, ABAHROUR 2009, EL AROUSSI et al., 2013, HILI et al., 2015, 2016, 2017, HILI 2018), liées aux inondations, à la perte des sols et à la forte pression que la population locale, exercés sur les ressources naturelles (labour, surpâturage et défrichage des forêts).

En effet, le domaine Prérifain en général et plus particulièrement le bassin versant de l'Oued Amlil n'a pas échappé à cette règle, où plusieurs facteurs ont joué un rôle primordial au déclenchement non seulement une dynamique accélérée des processus de l'érosion hydrique, mais aussi une forte instabilité des versants liée aux différents types de mouvements de terrain (HEUSCH 1970, TRIBAK 1997 et 2000, FALEH et MAKTITE 2014, FALEH et SADIKI 2002, EL GAROUANI et al., 2008, ABAHROUR 2009, SADIKI et al., 2014, EL AROUSSI et al., 2013, HILI et al., 2015, 2016, 2017, HILI 2018). Ces deux phénomènes ont connu une dynamique importante au cours de ces dernières années.

La problématique étudiée concerne le bassin versant de l'Oued Amlil est la conjonction de plusieurs facteurs naturels et une forte pression anthropique, dont les conséquences sont très graves en termes de l'érosion hydrique puisque ce bassin versant connaît un développement remarquable des différentes formes de l'érosion. La nature friable de ses formations géologiques (marnes, marno-calcaires), la réduction du couvert végétal protecteur et l'accentuation des pentes sont à l'origine de l'agressivité du climat et de la vulnérabilité des versants faces aux risques géomorphologiques.

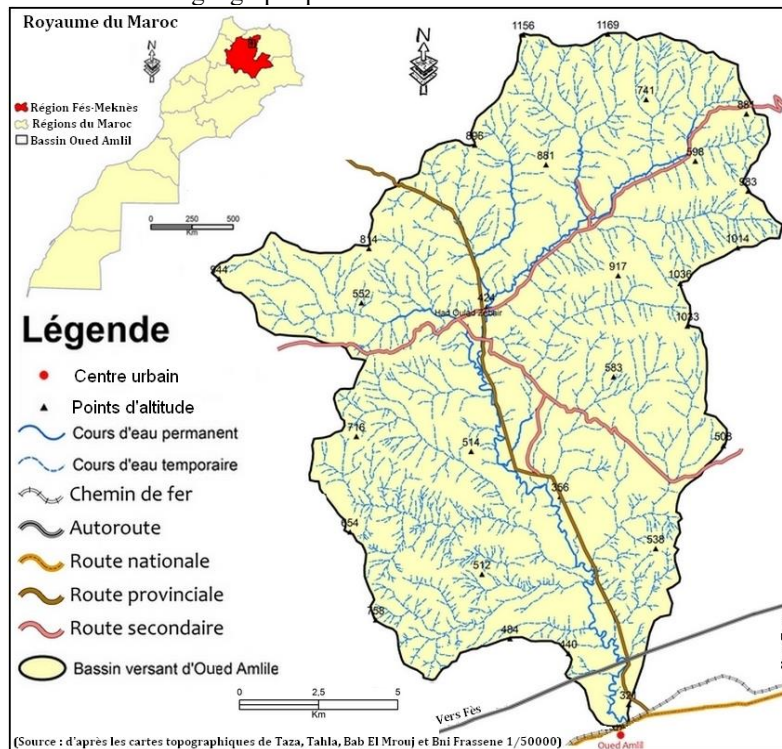
### I. ZONE D'ETUDE.

Le bassin versant de l'Oued Amlil fait partie de la région de Fès-Meknès (figure 1). Il s'étend au Nord du centre urbain d'Oued Amlil (N-O de Taza) sur une altitude comprise entre 290 m à l'aval et 1169 m en amont et draine une superficie de 153.7 km<sup>2</sup>. Son indice de compacité est de l'ordre de 1.52. Il reçoit en moyenne 485 mm de pluies qui se caractérisent à la fois par une irrégularité spatio-temporelle et une intensité forte.

Le bassin versant de l'Oued Amlil se caractérise également par un système de pente accidentée (53% du bassin a pente forte à extrême), par un couvert végétal très réduit (13.3% de la superficie totale du bassin est couvert par des oliviers, des matorrals, de chêne liège et de la forêt), par ailleurs la carte d'occupation du sol montre un faible taux de recouvrement qui explique un fort degré de dégradation du sol (81.3% des terrains incultes et 5.4% des céréalicultures). Cette dernière se traduit en termes de la morphogénèse par la prolifération des formes d'érosion.

Les formations lithologiques sont essentiellement marneuses, tendres et imperméables (71.5%). La densité de drainage est forte, elle est de l'ordre de 3.83 km<sup>-1</sup> (km/km<sup>2</sup>), elle traduit la nature lithologique imperméable favorisant le ruissellement de surface. Le réseau hydrographique, d'ordre 6, donc très actif lors des pluies intenses et concentrées.

FIGURE 1  
Situation géographique du bassin versant de l'Oued Amlil.



## 2. MATERIELS ET METHODES

Dans le présent travail, nous avons appliqué deux types de méthodes, la **première** est celle de PAP/CAR (1988), appliquée en 2017 par HILI et autres sur le même bassin versant, qui est une démarche méthodologique. Elle a la particularité de se baser uniquement sur les facteurs naturels (pente, couvert végétal et lithologie), cette méthode se caractérise par trois phases :

L'approche prédictive qui aboutit à la cartographie des unités homogènes des états érosifs potentiels dans le bassin versant, fournissant le canevas pour la cartographie du potentiel et des tendances générales d'érosion ;

L'approche descriptive qui consiste à identifier et évaluer les processus actuels d'érosion sur le site, ainsi que les différents degrés d'exposition à l'érosion ;

L'approche d'intégration dont le résultat principal est la carte consolidée. Cette phase est obtenue par la superposition de la carte des états érosifs obtenue de la phase prédictive et la carte des formes d'érosion réelle (la phase descriptive) obtenue par la cartographie directe des formes d'érosion sur le terrain ou par l'investigation des images satellites (PAP/CAR, 1998).

Quant à la **seconde** méthode, de WISCHMEIER et SMITH 1978, cette méthode repose sur l'utilisation d'une équation universelle regroupant toutes les variables sous six facteurs majeurs (WISCHMEIER et SMITH, 1965). Le modèle réunit les facteurs causant de l'érosion tel que les précipitations, les pentes, le couvert végétal, ..., et ayant une

incidence l'importance sur l'érosion. Le modèle USLE s'exprime en une équation dite empirique :

$$A = R. K. LS. C. P$$

A = perte annuelle moyenne de sol (t/ha/an),

R = indice d'érosivité potentielle de la précipitation,

K = indice d'érodibilité des sols à l'érosion hydrique,

LS = facteur topographique dépendant de la pente et sa longueur,

C = facteur couvert végétal,

P = facteur de conservation et d'aménagement, (WISCHMEIER et SMITH, 1978).

*a. Indice d'érosivité des précipitations (R)*

L'estimation du facteur d'érosivité des précipitations (R) s'est basée l'équation d'ARNOLDUS (1980), et sur les données de précipitations annuelles de 11 stations limitrophes du bassin versant d'une série d'étude de 28 ans (1987-2015).

$$R = 1.735 * \left[ 1.50 \log \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{P_i^2}{P} \right) - 0.8188 \right]$$

Où  $P_i$  est la précipitation moyenne mensuelle du mois  $i$  (mm).  $P$  : Précipitation moyenne annuelle de la durée d'observation (mm).

En effet, la spatialisation du facteur ( $R$ ) dans le bassin versant de l'Oued Amlil est conforme à son orographie, les valeurs les plus élevées (81.5) sont enregistrées vers l'amont, et les valeurs faibles (79) sont enregistrées vers l'aval du bassin versant.

*b. Indice d'érodibilité des sols (K)*

Vu le manque d'informations sur les unités pédologiques de la zone étudiée, la détermination de l'indice (K) d'érodibilité des sols a été fait d'une manière synthétique, en se basant sur une étude bibliographique. L'estimation de ce facteur est faite à partir des données de la lithologie en utilisant les cartes géologiques de Tahla, Bab El Mrouj (1/50'000) et la carte de la chaîne Rifain (1/500'000), et respectant la classification des sols réalisée par Manrique 1988 (tableau 1).

TABLEAU 1  
Classification du facteur d'érodibilité des sols (MANRIQUE, 1988).

Roches	Erodabilité K
Marnes sableuses roses, éboulis	0.6
Argiles brunes, argiles roses	0.45
Marnes, sol rubéfié, grès rouges	0.35

La carte du facteur  $K$  a permis de visualiser la répartition des sols du bassin versant de l'Oued Amlil selon leur érodibilité. L'analyse de cette carte nous a permis de constater que la majorité des sols fortement à très fortement érodables (0,35 à 0,45) et (0,45 à 0,6), qui se situent principalement dans le centre et la partie aval du bassin versant. La majorité des sols dans cette classe d'érodibilité sont des sols développés sur des roches marneuses. L'analyse de la base de données de la carte d'érodibilité des sols, montre l'abondance de la classe moyennement érodable (K) (42.9 %) vers la moitié amont du bassin versant et la classe fortement érodable (K) (30.7 %) dans la moitié aval. La classe faiblement érodable (K) est très réduite et ne dépasse pas 3.8 % et se localisent vers l'amont du bassin. Quant à la classe très fortement érodables (K), elle est peu représentée (14.7 %) et se limite à des versants vers le centre du bassin versant.

*c. Facteur topographique dépendant de la pente et sa longueur (LS)*

Le facteur topographique (LS) a été calculé à partir de l'inclinaison des pentes et de leur longueur par la formule de WISCHMEIER et SMITH (1978) :

$$LS = (L/22.13)^m \cdot (0.065 + 0.0456(s) + 0.006541(s)^2)$$

Où, **L** est Longueur de la pente, **S** : Degrés de pente en %, **m** : 0,5 pour  $S > 5\%$ , **m** : 0,4 pour  $3.5 \leq S \leq 4.5\%$ , **m** : 0,3 pour  $1 \leq S \leq 3\%$ , **m** : 0,2 pour  $S = 1\%$ .

Le facteur **LS** a été déterminé par la digitalisation des courbes de niveaux des cartes topographiques de Taza, Tahla, Beni Frassene et Bab El Mrouj au 1/50000, avec une équidistance de 10 mètres. L'outil SIG nous a permis de transformer ces données en un MNT (modèle numérique de terrain) avec une résolution de 30 mètres. Ainsi, ce facteur a été synthétisé à partir de la combinaison des facteurs de pente et de la longueur de pente générés dans le SIG qui met bien en évidence l'ampleur de l'érosion ravinante qui sillonne le sous bassin versant de l'Oued Amlil.

La spatialisation des classes du facteur LS, montre que le bassin versant de l'Oued Amlil est assez accidentée. La classe de pente moyenne (5%-15%) est la plus abondante avec 46.1%, la classe de pente forte (15%-25%) ne dépasse pas 30% et la classe très forte (>25%) est la moins représentée (9.3%). Certes, cette répartition va accélérer le ruissellement et, par conséquent, les processus d'érosion hydrique.

#### d. Facteur couvert végétal (C)

La distinction des terrains cultivés est basée sur le type de culture (tableau 2), le calendrier et les rotations culturales. Les résultats ont été ensuite comparés aux travaux effectués dans le Prérif (ABAHROUR 2009, EL GAROUANI et al. 2008, SADIKI et al. 2004).

TABLEAU 2  
Classification du facteur C (ABAHROUR 2009, EL GAROUANI et al. 2008, SADIKI et al. 2004).

C	Type de couvert végétal
0.058	reboisement dense
0,13	Forêt moyennement dense
0,17	matorral dégradé, parcours dense
0,18	reboisement clair
0,20	matorral clair, parcours dense,
0,22	Matorral très dégradé
0,32	steppes à alfa
0,70	céréaliculture
1	Terrain nu

Le facteur **C** a été déterminé en se basant sur la classification supervisée de l'image satellitaire du capteur OLI 8 prise le 22 Juin 2016 occupant tout le bassin versant. Nous avons attribué la valeur 0.33 pour les arboricultures, 0.70 pour les céréalicultures, 0.13 à la forêt, 0.21 au Matorral et 1 a été attribuée au terrain nu. La détermination de ces classes a été faite sur la base de la classification dans le tableau 2.

L'analyse de la répartition du facteur C dans le bassin versant de l'Oued Amlil, montre que la végétation joue un rôle protecteur limité sur la majeure partie des versants. En effet, 76.6% du bassin versant est représentée par la classe des sols nu ; sur cette surface les formes d'érosion hydrique sont très évoluées. En revanche, les classes 0.21, 0.33 et 0.13 bien que très limitées (13.5%) elles augmentent la protection des sols et

diminuent l'effet de l'érosion hydrique et protègent ainsi les versants contre l'agressivité pluviométrique.

#### e. Facteur de conservation et d'aménagement (P)

La protection des sols par des pratiques de conservation (facteur P) dans notre zone d'étude correspond aux cultures dans le sens de la pente, avec absence totale des autres formes et techniques d'aménagements anti-érosifs. Cette situation nous a permis d'attribuer la valeur 1 à tout le bassin versant de l'Oued Amlil.

La spatialisation des deux approches repose sur l'usage du système d'information géographique (SIG) pour des opérations d'analyse, de superposition, de modélisation des processus d'érosion et de spatialisation des zones touchées par les différentes formes d'érosion.

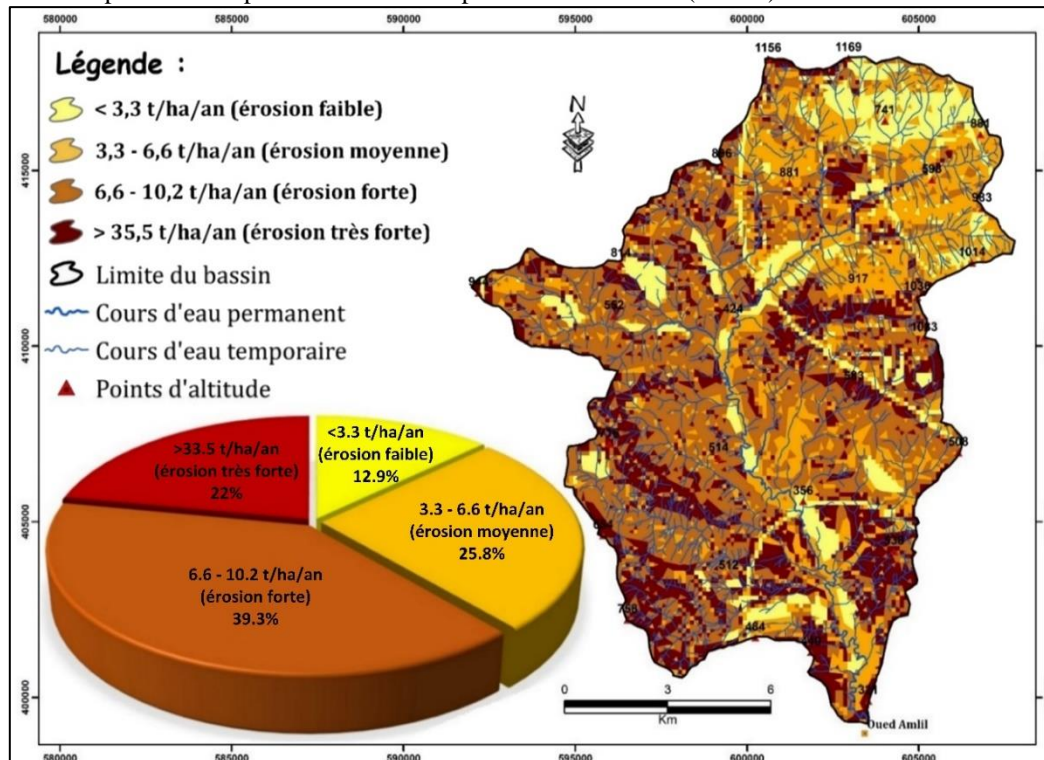
### 3.RESULTATS

#### 1) Carte des pertes en sol (USLE)

En effet, la superposition des cartes des facteurs fournit la carte des pertes en terre (A) dans le bassin versant de l'Oued Amlil (figure 2). Cette carte permet de visualiser et de localiser les zones qui subissent des pertes en sols importantes et les zones relativement stables. L'exploitation de la base de données de la carte des pertes annuelle moyenne en sols dans le bassin versant permet de noter que : la classe  $< 3.3$  t/ha/an est la classe la moins représentée dans la zone d'étude (12.3%). La classe 3.3-6.6 t/ha/an est moyennement représentée (27.5%). Les classes 6.6-10.2 t/ha/an (forte perte en sol) et 10.2-35.5 t/ha/an (très forte perte en sol) représentent respectivement 34% et 26.2%.

FIGURE 2

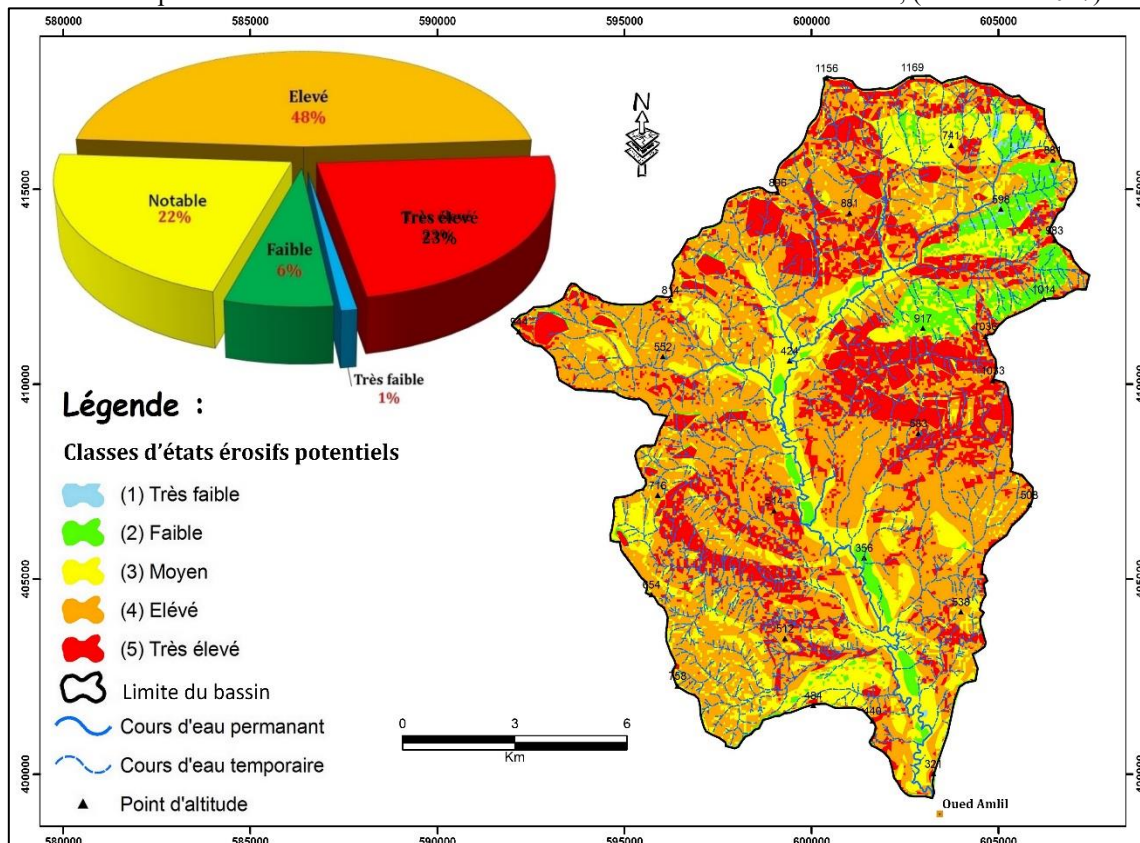
Carte et répartition des pertes en sol établie par le modèle USLE (t/ha/an) du bassin de l'Oued Amlil.



#### 2) Carte d'états érosifs potentiels (PAP/CAR)

Quant à la carte des états érosifs potentiels (figure 3), c'est une carte de synthèse produite par la superposition des données des deux cartes : la carte d'érodibilité et celle des niveaux de protection du sol (phase prédictive). Les données de ces deux cartes soulignent que le bassin versant de l'Oued Amlil est très mal protégé et propice à une morphogénèse active, particulièrement à l'érosion hydrique et aux mouvements de terrain (voir HILI et al. 2017).

FIGURE 3.  
Carte et répartition des classes d'états érosifs du bassin versant de l'Oued Amlil, (HILI et al. 2017).



La superposition de la carte d'érodibilité et la carte de protection des sols nous a permis d'hiérarchiser le bassin versant en zones à risque. Cinq classes d'érosion ont été ressorties (figure 3) : la classe d'état d'érosion très faible et faible couvre une surface de 11.2 km<sup>2</sup> ; soit 7% de la zone d'étude. Elle contient des zones où sévit l'érosion hydrique et les mouvements de terrain bien que moins évolués. La classe d'érosion notable couvre 33.2 km<sup>2</sup> soit 22% de la surface du bassin versant. Cette classe correspond à un stade d'érosion hydrique peu avancés, où abondent les formes de ravines.

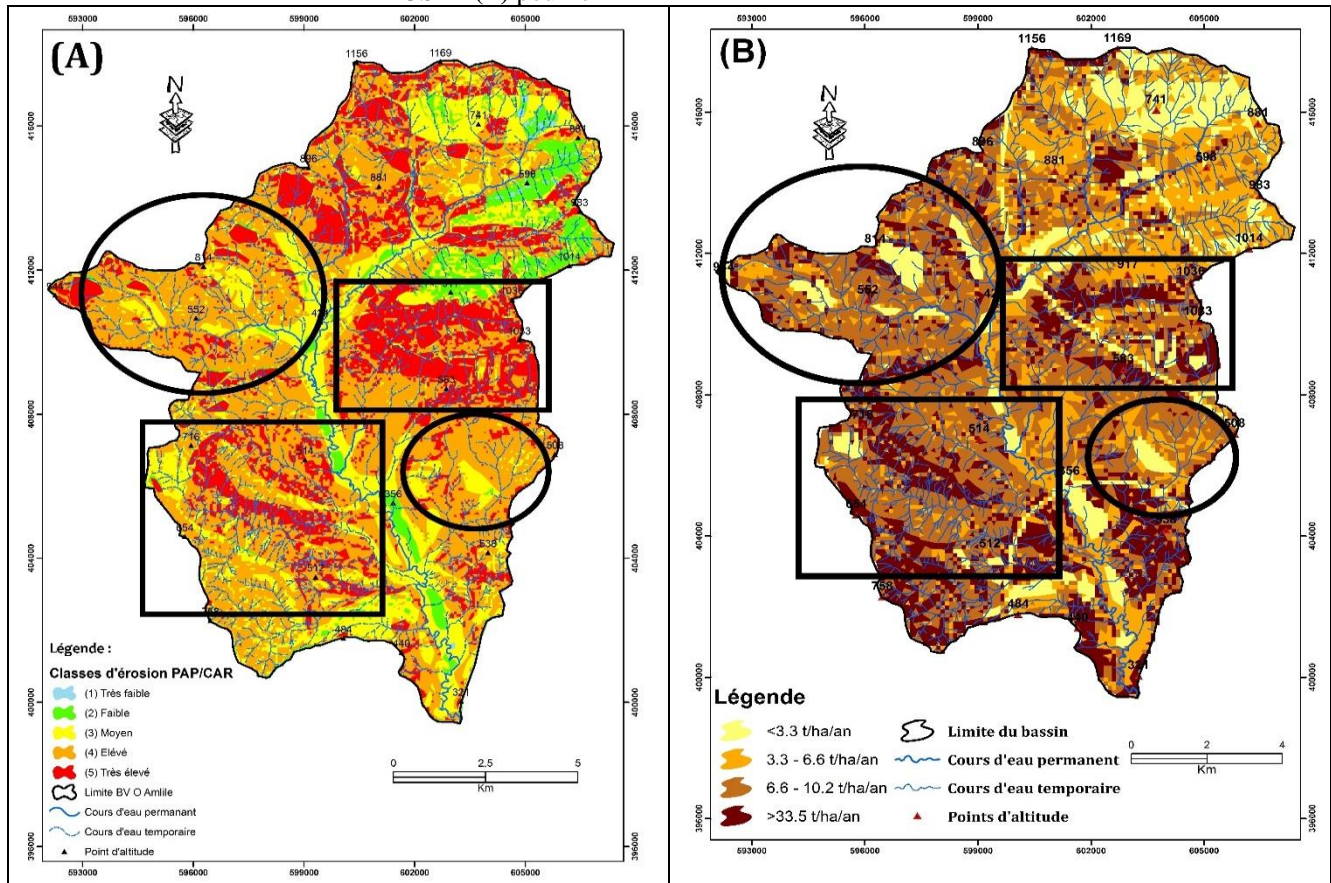
Par ailleurs, la classe d'érosion élevée et très élevée couvre la totalité du bassin avec une superficie de 109.3 km<sup>2</sup> ; soit 71% de la surface totale. Cette classe d'érosion est caractérisée par une perturbation totale de la surface des sols, où les formes de ravinements, de glissements, des badlands sont abondantes (HILI et al., 2017).

#### 4. DISCUSSIONS

La comparaison des résultats obtenus par l'approche PAP/CAR et le modèle USLE corrobore les résultats obtenus et montre à la fois l'ampleur des pertes en terres dans le

bassin versant de l'Oued Amlil et leur variabilité dans l'espace (figure 4). La spatialisation des classes d'érosion forte (ellipses) et très forte (quadrilatères) de la carte de l'approche PAP/CAR correspond aux classes forte 6.6-10.2 t/ha/an (cercle) et très forte 10.2-35.5 t/ha/an (rectangle) des pertes en sols du modèle USLE (figure 4).

FIGURE 4.  
Comparaison des cartes d'érosion (A) établie par l'approche PAP/CAR (HILI et al., 2017), et le modèle USLE (B) pour le bassin versant de l'Oued Amlil.



Ainsi, les pourcentages de la spatialisation, tableau 3, montre que les pourcentages des classes des deux méthodes sont presque similaires, où la classe moyenne et la classe très élevée de la méthode PAP/CAR et érosion moyenne et l'érosion très forte de la méthode USLE sont quasi égaux (tableau 3).

TABLEAU 3.  
Correspondance des classes d'érosion et perte des sols dans le BV de l'Oued Amlil des approches PAP/CAR et USLE.

Classe d'érosion PAP/CAR	Classe d'érosion USLE	Pourcentage (%)
Très élevé	33.6 (érosion très forte)	<b>PAP/CAR = 23% ; USEL = 22%</b>
Elevé	6.6 – 10.2 (érosion forte)	<b>PAP/CAR = 48% ; USEL = 39.3%</b>
Moyen	3.3 – 6.6 (érosion moyenne)	<b>PAP/CAR = 22% ; USEL = 25.8%</b>
Faible et Très faible	< 3.3 (érosion faible)	<b>PAP/CAR = 7% ; USEL = 12.9%</b>



De même, nous pouvons remarquer quelques différences dans la spatialisation du risque notamment au Nord (entre la classe faible et moyenne de PAP/CAR et l'érosion faible de USEL), et au Sud du bassin versant (entre la classe moyenne et élevée de PAP/CAR et l'érosion forte et très forte de USEL).

En effet, cette dégradation est liée notamment à la combinaison des processus naturels tel que l'agressivité climatique, la topographie, l'érodibilité des sols, la protection du couvert végétal et aussi aux interventions humaines non négligeables.

En guise de récapitulation, nous pouvons constater que malgré : i) la différence dans l'utilisation des facteurs naturels, par exemple, la méthode USEL superpose tous les facteurs dans le même raster, par contre la méthode PAP/CAR superpose les facteurs deux par deux voir HILI et al., 2017 ; ii) ou le choix des facteurs à utiliser (par exemple, la méthode PAP/CAR n'utilise pas l'agressivité climatique et les intervention anthropiques), les résultats du risque d'érosion potentiels (PAP/CAR) et des pertes des sols (USLE) obtenus sont similaires et avec la réalité prématurée. A ce propos, ces résultats ont été confirmés par la carte des formes d'érosion réelle réalisée à partir de la cartographie directe sur le terrain (figure 4).

### 3) Vérifications de terrains

Les observations faites sur le terrain nous ont montré que les formes d'érosion hydrique et des mouvements de terrain sont nombreux (Planche photo 1), et dispersés sur l'ensemble du bassin versant de l'Oued Amlil (figure 5), dont ils jouent un rôle important dans l'évolution et la dégradation des versants.

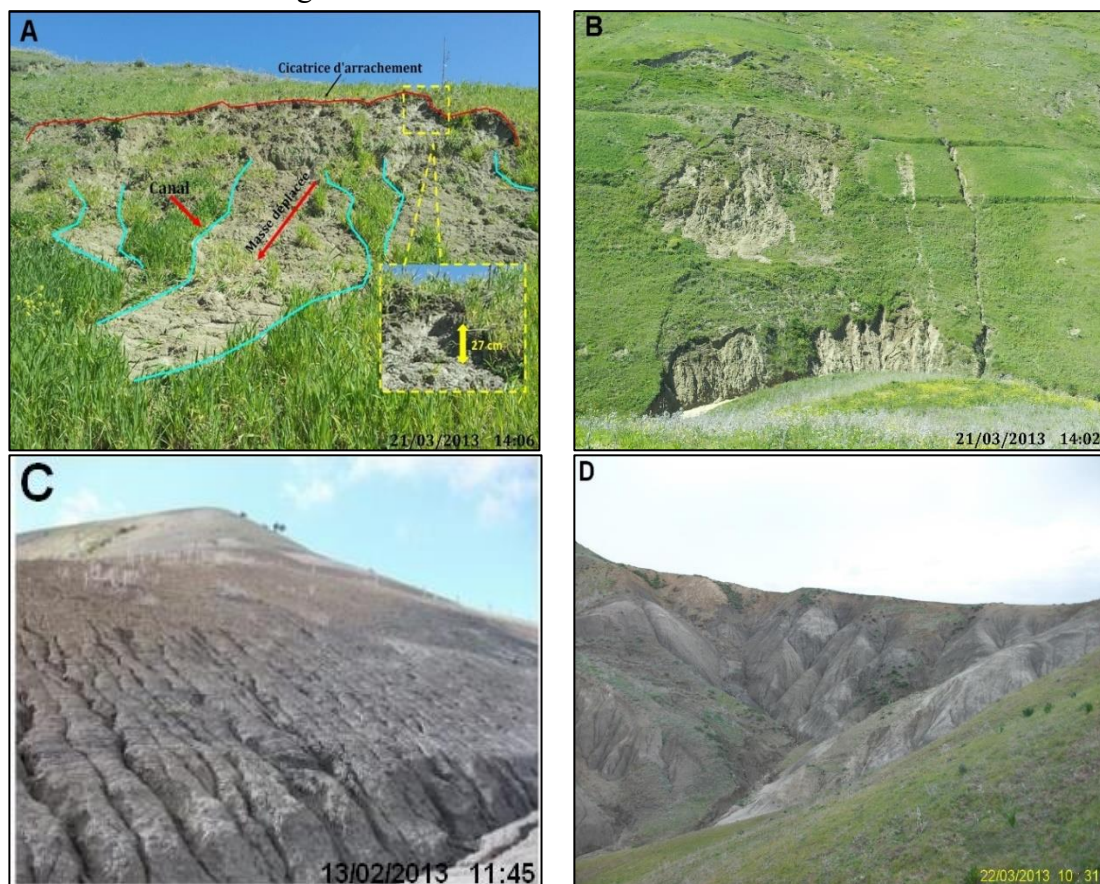
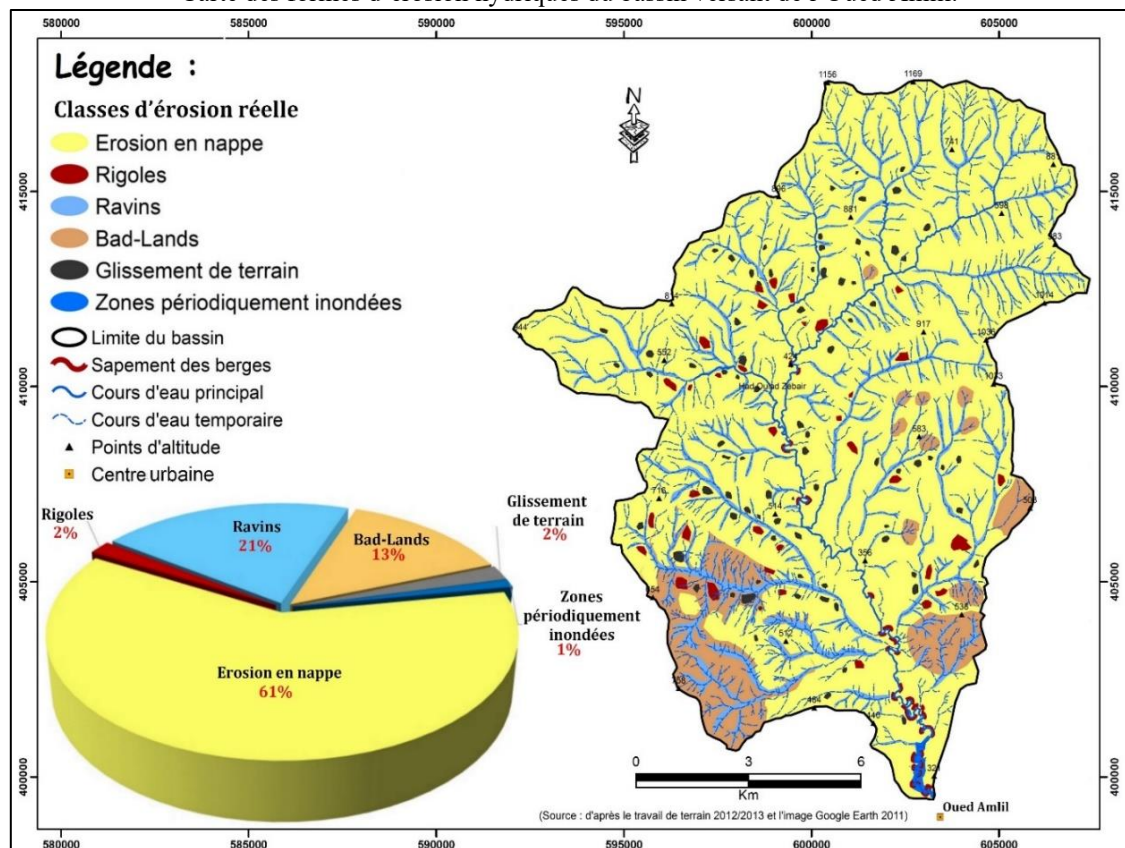


PLANCHE DE PHOTO 1 : Formes d'érosion hydrique et des mouvements de terrain dans le bassin versant de l'Oued Amlil. (A) Aspect de glissement-coulé, (B) de glissements pelliculaires, (C) Prolifération des rigoles, (D) et des badlands. (Cliché HILI, 2013)

La cartographie des formes de dégradation des versants (figure 5), a été faite à partir de la cartographie directe des formes et des processus actuels de l'érosion hydrique et des mouvements de masses sur le terrain. Le but de cette cartographie est d'évaluer qualitativement les processus actuels actifs.

FIGURE 5  
Carte des formes d'érosion hydriques du bassin versant de l'Oued Amlil.



L'analyse de la base de données de la carte des formes d'érosion réelle (figure 5) montre l'abondance de l'érosion en nappe sur les autres formes d'érosion hydrique. Elle menace 61% des versants et appauvrit le sol par l'enlèvement des particules nutritives nécessaire pour le développement de la végétation. Les ravins plus profonds que larges, couvrent 21% et s'installent préférentiellement sur les rives des cours d'eau, dont ils contribuent à l'augmentation de la densité de drainage du bassin versant. Les badlands s'étendent sur 13% et se situent toujours en tête de ravins. Les rigoles et les glissements de terrain ne présentent que 2%. Par contre le risque des zones périodiquement inondées ou/et alluvionnées est très localisé. Ces zones ne dépassent pas 1% et se limitent à l'aval du bassin versant entre le pont de l'autoroute et l'exutoire.

## 5. CONCLUSION

L'analyse des données de la carte des états érosifs de l'approche PAP/CAR souligne une grande fragilité de l'espace naturel :

- Une grande extension (71 %) des zones à risque élevé à très élevé,
- Une étendu moyenne (22%) des zones à risque notable,
- Et des surfaces très limité (7%) à risque faible à très faible.

Les résultats obtenus de l'estimation des pertes en sols annuelles par le modèle USLE montrent que :

- La majeure partie de la zone d'étude est affectée par une érosion forte (rive droite du bassin) et très forte (sud, est et nord-ouest du bassin) avec un taux d'érosion entre 6.6 et 35.5 t/ha/an, représentant 62.2% de la surface du bassin,
- Les zones à pertes en sols moyen (3.3-6.6 t/ha/an) présentent 27.5%, à ce stade les terrains sont plus ou moins instables,
- Les zones à faibles d'érosion (< 3.3 t/ha/an) sont peu représentées dans le bassin versant (12.3%) et dominent le nord-est du bassin versant, où la forêt contribue à la protection des versants.

La carte d'érosion réelle montre que le bassin est affecté par une érosion diverse et très intense. L'érosion en nappe menace 61% des versants et appauvrit le sol par l'enlèvement de la couche superficielle des sols (horizon A et une partie de l'horizon B) nécessaire pour le développement du couvert végétal. Le ravinement 21%, les badlands 13%, les rigoles et les glissements 2%. Cette dynamique de masses menace de plus en plus les habitations et leurs infrastructures et surtout l'autoroute Fès-Oujda.

Les résultats obtenus par les trois approches (PAP/CAR, USLE et carte réelle) confirment que le bassin versant de l'Oued Amlil (à l'instar du Prérif marocain) constitue un laboratoire à ciel ouvert pour tous ceux qui veulent étudier les différents processus de l'érosion hydrique. C'est un terrain qui présente toutes les conditions physiques et humaines pour un tel processus : pentes fortes, substrat imperméable, couvert végétal très réduit, précipitations agressives et interventions inappropriées de l'Homme.

La comparaison des résultats obtenus par ce travail, et d'autres travaux réalisés au niveau du Prérif (FALEH et MAKTE 2014, FALEH et SADIDKI (2002), SADIKI (2005), BACHAOUI et al., (2007), EL GAROUANI et al., (2008), ABAHROUR (2009), SADIKI et al., (2012, 2009, 2004), EL AROUSSI et al., (2013) et HILI (2018) et HILI et al., (2015, 2017, 2016)), montre que ce domaine en général et le bassin versant de l'Oued Amlil en particulier connaît et connaît une érosion très variable dans le temps et dans l'espace. Ces résultats liés essentiellement aux facteurs responsables dans le contrôle de l'érosion hydrique tel que l'agressivité climatique, l'érodibilité des sols et la protection du couvert végétal.

## 6. RÉFÉRENCES

- ABAHROUR, M. (2009) : *Thèse de doctorat*. "Contribution à l'évolution quantitative de l'érosion hydrique dans le Prérif oriental, cas du bassin versant de l'Oued Tleta)". Thèse, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Sais-Fès, Maroc. 291 pages.
- ARNOLDUS, H.M.J. (1980) : *Bull. FAO*. "Methodology used to determine the maximum average soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco". N°34, pp. 39-48.
- BACHAOUI, B. BACHAOUI, M. EL HARTI, A. BANNARI, A. EL GHMARI, A. (2007) : *Revue Télédétection*. "Cartographie des zones à risque d'érosion hydrique : exemple du haut atlas marocain". Vol. 7, n° 1-2-3-4, pp. 393-404.
- EL AROUSSI, A. EL GAROUANI, A. JABRANE, R. (2013): *Journal of Urban and Environmental Engineering (JUEE)*. "Modelling and mapping of soil erosion on the Oued El Malleh catchment using remote sensing and GIS". Vol.7, n.2, pp. 302-307.

- EI GAROUANI, A. CHEN, H. LEWIS, L. TRIBAK, A. ABAHROUR, M. (2008) : *Revue Télédétection*. "Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du SIG Idrisi au Nord-Est du Maroc". Vol. 8, n° 3, pp. 193-201.
- FALEH, A. MAKTITE, A. (2014) : *Papeles de Geografía*. "Cartographie des zones vulnérables à l'érosion hydrique à l'aide de la méthode PAP/CAR et SIG en amont du barrage Allal El Fassi, Moyen Atlas (Maroc)". 59-60; pp. 71-82.
- FALEH, A. SADIKI, A. (2002) : *Bulletin de l'Institut scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*. "Glissement rotationnel de Dhar El Harrag : exemple d'instabilité de terrain dans le Prérif central (Maroc)". N° 24, pp. 41-48.
- HEUSCH, B. (1970) : *Annales des recherches forestières, Rabat*. "L'érosion dans le Prérif : une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Prérif occidental". N°12, pp. 9-176.
- HILL, A. (2018) : *Editions Universitaires Européennes*. "Modélisation de l'érosion hydrique et des mouvements de terrain. Effets sur l'autoroute Fès-Taza (A2)". 169 pages.
- HILL, A. EL KHALKI, Y. GARTET, J. (2017) : *Espace Géographique et Société Marocaine*. "Estimation qualitative de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Amlil (Taza-Maroc) par la combinaison de l'outil SIG et de l'approche PAP/CAR". N°18, pp. 133-144.
- HILL, A. EL KHALKI, Y. GARTET, J. (2016) : *Arabian Journal of Earth Sciences*. "Application des directives PAP/CAR et du SIG pour la cartographie des formes d'érosion et des mouvements de terrain dans le bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik (Nord-Ouest de Taza). Approche cartographique". Vol. 3 - Issue 2, pp. 17-25.
- HILL, A. EL KHALKI, Y. GARTET, J. (2015) : *Geomaghreb*. "Evaluation cartographique des risques géomorphologiques dans le bassin versant de l'Oued Sahb Twil (Prérif - Maroc, à l'aide des directives PAP/CAR et l'outil SIG)". N°11, pp. 60-66.
- MANRIQUE. LA. (1988) : *Honolulu (Hawaii, USA)*. "Land Erodibility assessment methodology, LEAM, Using soil survey databased on soil taxonomy". University of Hawaii Editorial and publication Shop.
- PAP/CAR. (1998) : "Directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes". PAP-8/PP/GL.1. Split, Centre d'activités régionales pour le Programme d'actions prioritaires (PAM/PNUE), en collaboration avec la FAO. pp. xii - 72.
- RENARD, K.G. FOSTER, G.R. WEESIES, G.A. MCCOOL, D.K. YODER, D.C. (1997) : *Agricultural Handbook*. "Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)". N° 703, Washington, D.C. 404 pages.
- SABIR, M. BARTHES, B. ROOSE, E. (2004) : *Sécheresse*. "Recherche d'indicateurs des risques de ruissellement et d'érosion sur les principaux sols des montagnes méditerranéennes du Rif occidental Maroc". Vol I, 15, pp. 105-110.
- SADIKI, A. BOUHLASSA, S. AUAJAR, J. FALEH, A. MACAIRE, J-J. (2004) : *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*. "Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'Oued Boussouab". Section Sciences de la Terre, n°26, pp. 69-79.
- SADIKI, A. MESRAR, H. FALEH, A. et CHAAOUAN, J. (2012) : *Papeles de Geografía*. "Modélisation et cartographie des risques de l'érosion hydrique : cas du bassin-versant de l'oued Larbaa, Maroc". N° 55-56. pp. 179-188
- SADIKI, A. FALEH, A. ZEZERE, J. L. MASTASS, H. (2009) : *Cahiers géographiques*. "Quantification de l'érosion en nappe dans le bassin versant de l'Oued Sahla, Rif central, Maroc". Vol. 6, pp. 59-70.

- SADIKI, A. (2005) : *Thèse de doctorat*. ‘‘Estimation des taux d’érosion et de l’état de dégradation des sols dans le bassin versant de Boussouab, Maroc nord oriental : Application du modèle empirique (USLE), de la technique du radio-isotope  $^{137}\text{Cs}$  et de la susceptibilité magnétique. Faculté des Sciences Oujda, Maroc’’. 288 pages.
- TRIBAK, A. (2000) : *Thèse doctorat d’état*. ‘‘L’érosion hydrique en moyenne montagne du Préif oriental (Maroc). Etude des agents et des processus d’érosion dans une zone de marnes tertiaires’’. Université Chouaib Doukkali, 351 pages.
- TRIBAK, A. (1997) : *Méditerranée*. ‘‘Exemple de terrain dans le périf oriental (Maroc)’’. Vol. 1-2, pp. 61-68.
- WISCHMEIER, W.H. SMITH, D.D. (1978): *Agriculture Handbook*. ‘‘Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning’’. No. 537. USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC, 58 pages.