



## APPLICATION OF DIRECTIVES PAP/RAC AND GIS FOR MAPPING FORMS OF EROSION AND LAND MOVEMENTS IN THE WATERSHED OF OUED SAHB LAGHRIK (NORTHWEST TAZA, MORROCO). MAPPING APPROACH

## 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, MAROC). APPROCHE CARTOGRAPHIQUE.

AÏMAN HILI<sup>1</sup>, YAHIA EL KHALKI<sup>1</sup> & JAOUAD GARTET<sup>2</sup>

*1 Laboratoire Dynamiques des Paysages, Risques et Patrimoine - Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, USMS, Béni Mellal, Avenu Ibn Khaldoun, B.P : 524, Beni Mellal. ayman.hili.1984@gmail.com – y.elkhalki@gmail.com*

*2 Laboratoire DEP2D - Faculté Polydisciplinaire de Taza, USMBA, jaouad.gartet@usmba.ac.ma*

Article Info	Abstract
<p><b>Keywords:</b></p> <p><i>PAP/RAC, water erosion, land movements, thematic maps, GIS, watershed of Oued Sahb Laghri, Taza, Morocco.</i></p> <p><b>Mots clés:</b></p> <p><i>PAP/CAR, érosion hydrique, mouvements de terrain, SIG, bassin versant, Oued Sahb Laghrik, Taza, Maroc.</i></p>	<p>The watershed of Oued Sahb Laghrik is a sub tributary of the Oued Inaouène. It is characterized by a very vulnerable environment: a favorable climate (intense and concentrated rainfall). The vegetation is very low (13%), which promotes runoff, decreases infiltration and increases the morphogenic processes on slopes (erosion, landslides ...). The lithological formations are mostly marl, soft, impermeable and easily altered (54.1% of the basin). The water system is temporary and very active during rainy phases. The human intervention is very important in the degradation of the environment through a number of interventions such as plowing, overgrazing, etc.</p> <p>The consequences of these human actions are that the watershed of Oued Sahb Laghrik has been affected by intense erosion, the forms of water erosion (sheet erosion, rill, gully erosion, Badlands ...), ground movements (landslides, mudflows ...). This dynamic threatens more homes and infrastructure and especially the Fez-Taza highway.</p> <p>Sheet erosion attacks most of the watershed: 53.7% of threatened land and 18.3% for mass movements. In contrast, medium and profound ravines settle always on the banks of rivers and cover 23.6%. Badlands cover 3.8% and are still at the top of gully erosion; they are deeper. By contrast, the channels have only 0.6%.</p> <p><b>Résumé.</b> Le bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik est un sous affluent de l'Oued Inaouène. Il est caractérisé par un contexte très vulnérable à l'érosion hydrique et aux mouvements de terrain : un climat favorable (précipitations intenses et concentrées) ; un couvert végétal très réduit (13%), qui favorise le ruissellement, diminue l'infiltration et aggrave les processus morphogéniques sur les versants (érosion, glissements, ...). Les formations lithologiques sont essentiellement marneuses, tendres, imperméables et facilement altérables (54.1% du bassin). Le réseau hydrographique est temporaire et très actif lors des phases pluvieuses. L'intervention de l'homme reste très importante dans la dégradation des milieux par plusieurs interventions (le labour, le surpâturage, ...).</p> <p>Les conséquences de ces actions naturelles et anthropiques font que le bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik est affecté par une érosion très intense. Les formes d'érosion hydriques (érosion en nappe, rigoles, ravinements, badlands, ...) et les mouvements de terrain (glissements, coulées boueuses, ...) sont fréquents. Cette dynamique menace de plus en plus les habitations et leurs infrastructures et aussi l'autoroute Fès-Taza.</p> <p>L'érosion en nappe attaque la plupart des versants: 53.7% des terrains menacés et 18.3% pour les mouvements de masse. En revanche les ravins moyennement profonds et profonds couvrent 23.6% et s'installent toujours sur les rives des cours d'eau. Les bad-lands couvrent 3.8% et se situent toujours en tête des ravins. Ils sont plus profonds. Par contre, les rigoles ne présentent que 0.6%.</p>

DOI : www.asrongo.org/doi:2.2016.3.2.17

This article cited as : AÏMAN HILI, YAHIA EL KHALKI & JAOUAD GARTET (2016) 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, MAROC). APPROCHE CARTOGRAPHIQUE., *Arabian Journal of Earth Sciences*, Vol.3 - Issue 2: 17-25

## 1. INTRODUCTION

Au Nord de Taza, comme partout dans le Prérif, les formes de l'érosion hydrique et des mouvements de terrain sont riches et diversifiées : érosion en nappe, rigoles, badlands, glissement rotationnel, coulées boueuses, etc. L'abondance des roches friables (marnes, marno-calcaires), la réduction du couvert végétal, l'accentuation des pentes et l'agressivité du climat seraient à l'origine de la vulnérabilité des versants et des risques géomorphologiques.

Sadiki (2005) conclue que les collines du Prérif ne couvrent que 6% du territoire national, elles produisent environ 60% de sédiments enlevés de la surface des sols marocains. La quantité de sol perdue, dans la chaîne du Rif, atteint une moyenne de 20 t/ha/an ; elle n'est que de 5 à 10 t/ha/an dans le Moyen et le Haut Atlas.

D'autres travaux sur la quantification de l'érosion des sols dans le Prérif, Tribak (1997), Faleh et Sadiki (2002), Sadiki (2005), Abahrour (2009), El Aroussi et *al.*, (2013) et d'autres soulignent la continuité des pertes des sols en rapport avec une forte activité dynamique des versants.

Le présent travail traite des processus érosifs du bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik dans le Prérif au Nord-Ouest de Taza.

## 2. ZONE D'ETUDE

Administrativement, le bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik se situe au Nord-Est de la commune d'Oued Amlil, sur une altitude comprise entre 330 m et 700 m. Il est traversé dans sa partie aval par l'autoroute Rabat-Oujda et longitudinalement par une route secondaire qui relie les douars, villages et centres ruraux avoisinants à la commune d'Oued Amlil. Au Sud du bassin versant, la route nationale RN6 parallèle à l'autoroute A2, relie Rabat à Oujda, via Fès et Taza (Fig. 1).

Le bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik est un sous affluent de l'Oued Inaouène. Il est caractérisé par un contexte très vulnérable. L'agressivité climatique serait favorable, puisque les précipitations enregistrent dans les quatre

stations limitrophes la moyenne interannuelle de 576 mm à Taza, de 648 mm à Had Msila, de 551 mm à Bab Marzouka et de 485 mm à Oued Amlil ; sur une période de 34 ans, de 1978-79 à 2012-13. Le couvert végétal est très réduit. L'olivier représente 12% du bassin versant, 1% du jujubier. Le reste du bassin versant est recouvert par des céréalicultures (64 %) et les terrains incultes (23%). Cet état d'occupation du sol favorise le ruissellement, au dépend de l'infiltration et aggrave les processus morphogéniques sur les versants en favorisant la prolifération des formes et des processus de l'érosion hydrique et des mouvements de terrain, particulièrement les glissements.

Les formations géologiques sont essentiellement de type marneuses, tendres, imperméables et facilement altérables. Ces faciès représentent 54.1% de la superficie du bassin versant (carte géologique du Rif Bab El Mrouj-Taza 1/50000). Le réseau hydrographique est temporaire et son débit est très important lors des épisodes pluvieux. L'intervention de l'Homme est très importante et décisive dans l'accentuation de la dégradation des sols sur ces versants, par le déboisement, les pratiques de labour et par le surpâturage.

Les observations de terrain montrent que la dégradation des sols est un processus dominant; elle se manifeste par la généralisation des formes d'érosion affectant les sols et les versants.

## 3. MATERIELS ET METHODES

La méthode adoptée dans cette étude est le programme : PAP/CAR (Programme d'Actions Prioritaires du Centre d'Activités Régionales). PAP/CAR (1998) s'inscrit dans le cadre du Plan d'Action pour la Méditerranée «PAM» du Programme des Nations Unies pour le Développement «PNUD» et du Programme des Nations Unies pour l'Environnement «PNUE». Depuis 1984, ce programme a entrepris une action prioritaire intitulée "Promotion de la protection des sols en tant que composante essentielle de la protection de l'environnement dans les zones côtières méditerranéennes".

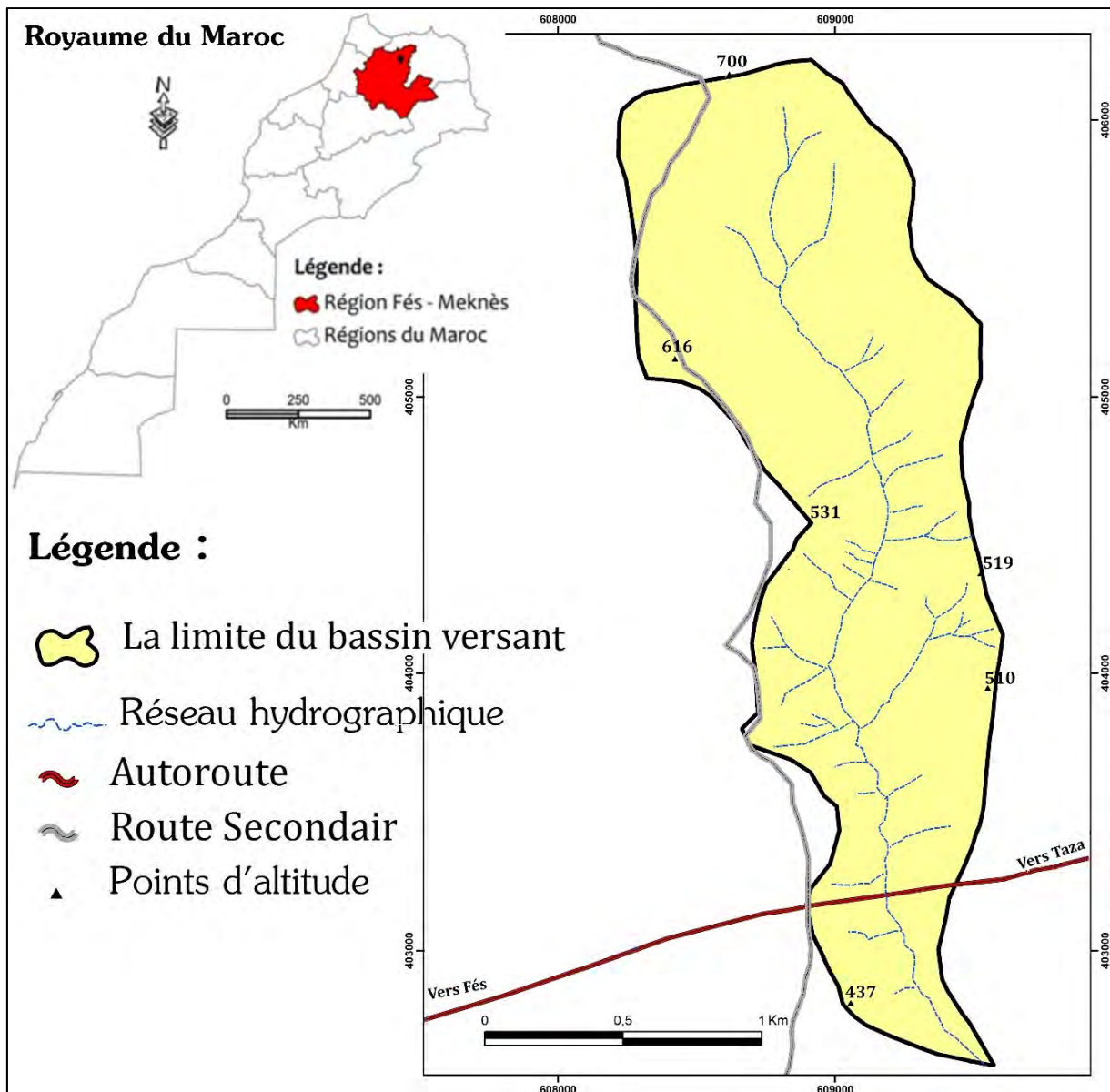


Fig. 1 : Carte de localisation et forme du bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik

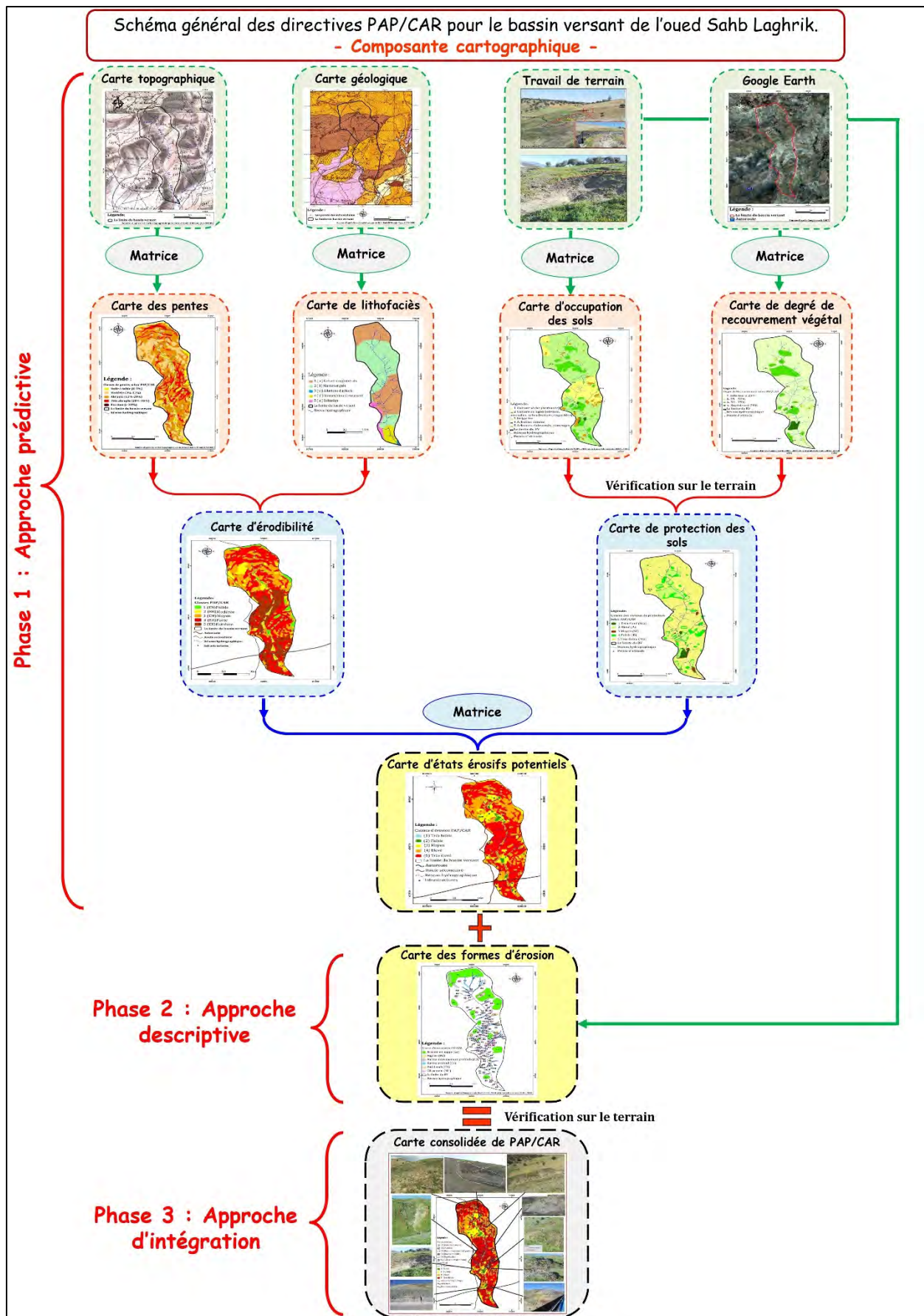
Les directives PAP/CAR visent, d'une part un objectif immédiat, développé un outil méthodologique et une source d'information pour la mise en œuvre de projets et programmes de gestion du contrôle de l'érosion hydrique et de la désertification ; et d'autre part, des objectifs à long terme, c'est de contribuer à la diminution des processus du risque (érosion, mouvements de terrain), et améliorer les conditions de vie et la sécurité alimentaire des populations.

Les directives PAP/CAR, en tant que méthode d'étude qualitative de l'érosion hydrique et des mouvements de terrain, se basent sur l'hierarchisation de la surface du bassin versant en unités distinctes selon la vulnérabilité à l'érosion hydrique et aux mouvements de terrain. Le but est

de déterminer et hiérarchiser les zones les plus fragiles et potentiellement pourvoyeuses de sédiments.

Comme indiqué dans le schéma général (Fig. 2), la démarche cartographique de l'approche PAP/CAR consiste en trois phases clairement définies :

a) Une cartographie **prédictive** consiste en l'identification, l'évaluation et l'intégration des facteurs physiques de base, tels que la topographie (pentes à partir de la carte topographique de Taza et Bab El Mrouj 1/50000), la lithologie (carte du Rif Bab El Mrouj-Taza 1/50000), et le couvert végétal (images Google Earth 2012-2013 et travail de terrain), afin de fournir des informations sur



**Fig. 2 :** Schéma général de la composante cartographique de l'approche PAP/CAR appliquée au bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik

l'état potentiel de la dégradation des versants ainsi les facteurs responsables de cette dégradation.

b) Une cartographie **descriptive** est réalisée par l'observation directe et le contrôle sur le terrain (2012-2013), dans le but de cartographier les formes réelles de l'érosion et des mouvements de terrain, en utilisant la carte prédictive des états érosifs potentiels comme modèle cartographique et thématique de référence.

c) Une phase de consolidation et **d'intégration** résultante de la superposition de la cartographie prédictive et descriptive, qui fournit le produit cartographique final identifiant et évaluant aussi bien le potentiel d'érosion (états érosifs) que les processus d'érosion actuels et leur intensité.

L'utilisation du SIG (système d'information géographique) a permis de gérer et de traiter :

- i) les relations spatiales entre objets ou phénomènes dans chaque unité du bassin versant ; et,
- ii) les fonctions d'analyse spatiale et de synthèse.

La validation des résultats a été faite par le travail de terrain (reconnaissance et suivi des formes) et par le traitement des images satellitales, en utilisant la carte prédictive des états érosifs potentiels comme canevas cartographique et thématique de référence.

## 4. RESULTATS ET DISCUSSION

### 4.1. Approche prédictive

La carte des états érosifs potentiels du bassin versant est une carte de synthèse produite par la combinaison des données des deux cartes : la carte d'érodibilité (réalisée par la superposition de la carte des pentes et la carte de lithofaciès) et celle des niveaux de protection du sol (élaborée par la classification du couvert végétal selon leur densité pour la carte de degré de recouvrement et selon le type pour la carte d'occupation) voir figure 2.

L'intérêt de la carte obtenue (Fig. 3) est l'hierarchisation du bassin versant en zones à risque de l'érosion et perte de sol. Cinq classes ont été obtenues : très élevé, élevé, moyen, faible et très faible.

Le bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik est dans un état érosif fort à très fort. Ses versants sont vulnérables à l'érosion hydrique. En effet, la répartition de la superficie sur la carte des états érosifs potentiels montre une dominance des deux classes des états érosifs élevé (32%) et très fort (52.5%). Ces dernières s'étendent sur la majorité du bassin et occupent une superficie de 2.31 km<sup>2</sup>.

### 4.2. Approche descriptive

La seconde phase est une phase complémentaire à la première étape (prédictive). Elle se base sur la description directe des processus actuels de l'érosion et leur évolution future, tout en tenant compte des facteurs influant sur l'état actuel de la dégradation des sols. Elle consiste aussi à décrire et à faire une évaluation qualitative des processus actuels actifs.

Les formes d'érosion hydrique sur le bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik correspondent aux formes d'érosion en nappe, rigoles, ravinements, et badlands ... Les mouvements de terrains sont représentés par des glissements, des coulées boueuses, des solifluxions, et des reptations ...

Les observations faites sur le terrain (Fig. 4) nous ont permis de constater que les formes d'érosion et les mouvements de terrain se différencient, tant par la taille que par les mécanismes d'évolution. Ils présentent une grande variété et jouent, par conséquent, un rôle prépondérant dans l'évolution des versants.

La carte d'érosion réelle dans le bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik présente les zones particulièrement touchées par les formes d'érosion hydrique et mouvement de terrain (Fig. 5). Elle est réalisée à partir de l'observation de terrain (plus 10 vérifications). Elle représente le résultat du classement et de cartographie des différentes formes d'érosion hydriques et de mouvements de terrain rencontrés dans le bassin versant. L'outil SIG permet de quantifier leurs superficies relatives, (Histogramme de la Fig. 5).

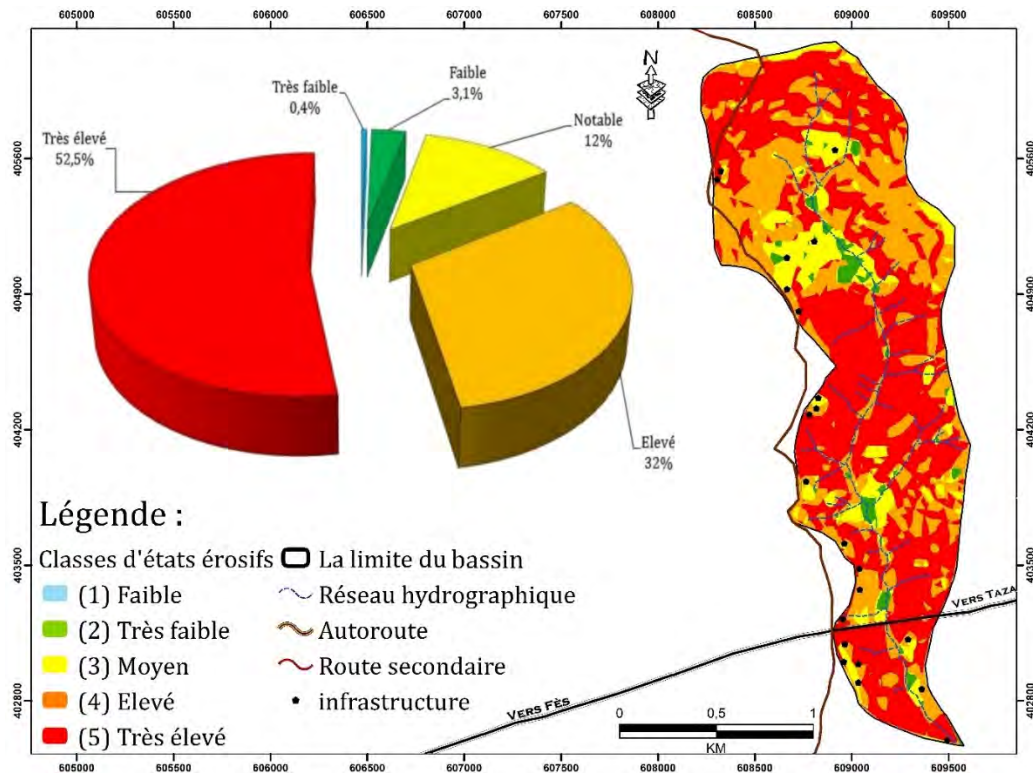


Fig. 3 : Carte et répartition de la surface d'états érosifs potentiels du bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik

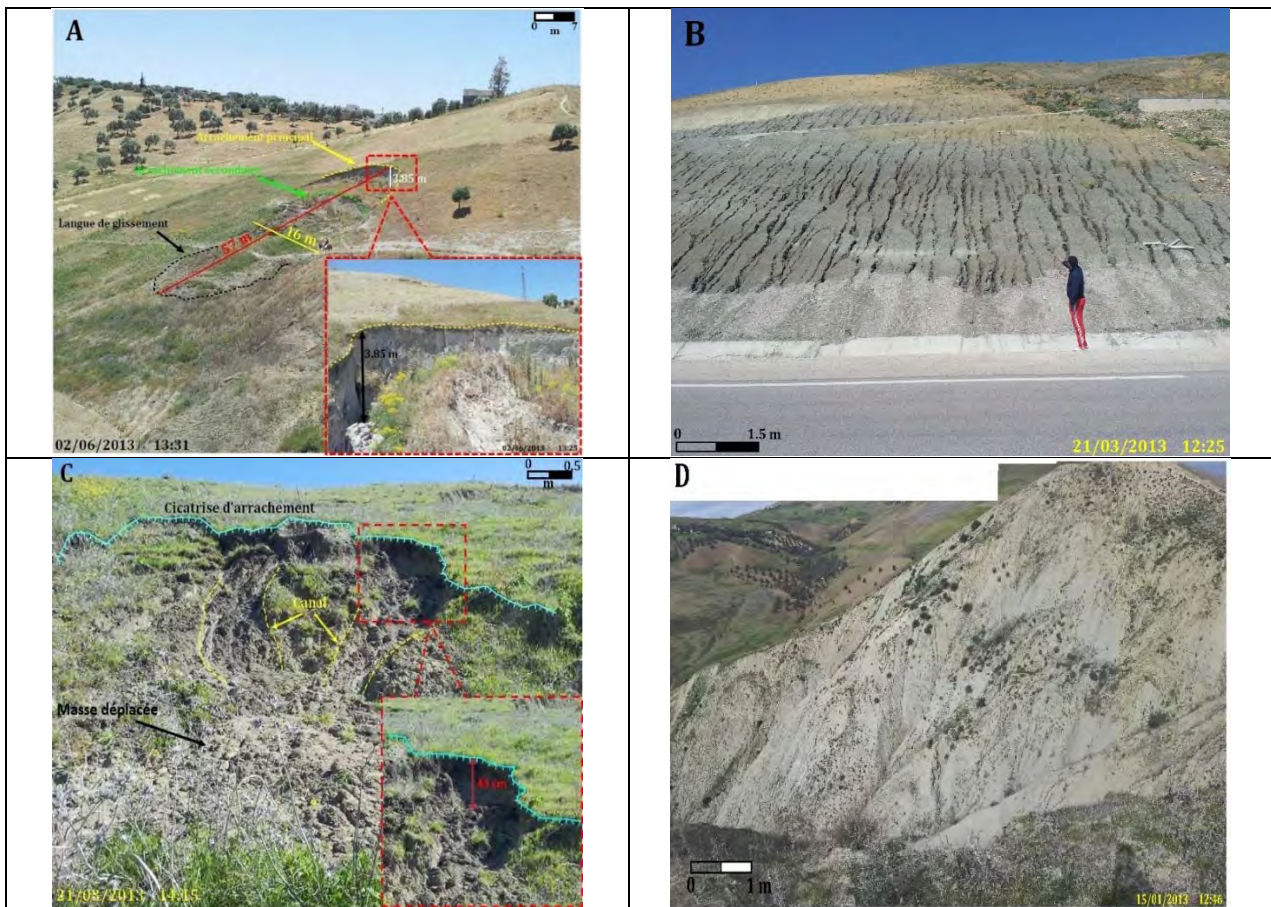
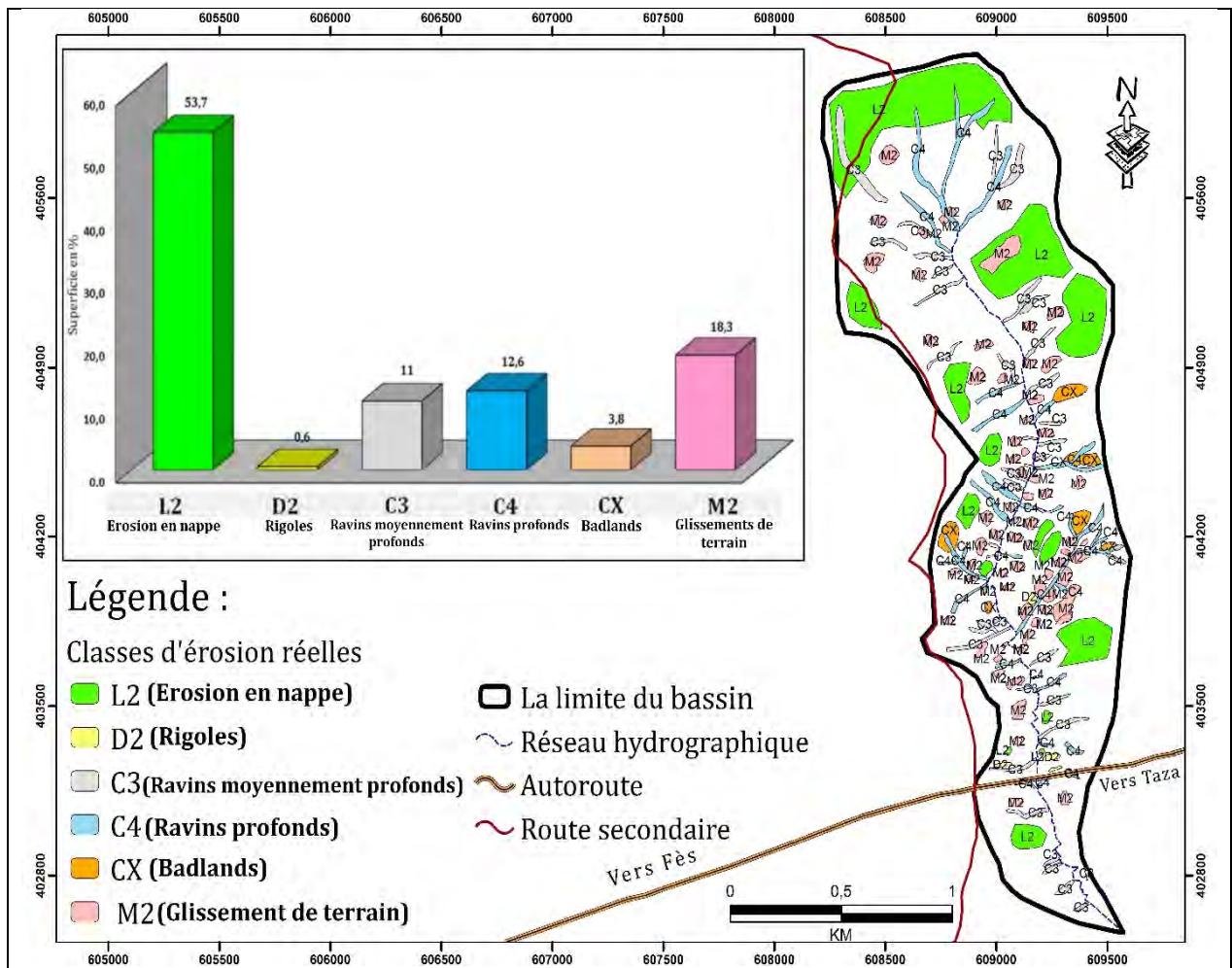


Fig. 4 : Aspects des formes d'érosion hydrique et des mouvements de terrain dans le bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik (A) Glissement rotationnel, (B) rigoles, (C) glissement coulé, (D) badlands. (Cliché Hili, 2013)



**Fig. 5 :** Répartition des terrains menacés par l'érosion et les mouvements de terrain dans le bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik

L'analyse de carte de l'érosion réelle (Fig. 5) montre que la forme la plus représentative est celle qui appartient à l'érosion en nappe, suivi par celle des ravins. Cette analyse fait apparaître les remarques suivantes :

- 53.7% des terrains sont menacés par l'érosion en nappe et 18.3% par les mouvements de masse,
- Les ravins moyennement profonds et profonds couvrent 23.6% et s'installent toujours sur les rives des cours d'eau,
- Les badlands couvrent presque 3.8% et se situent toujours en tête de ravin. Ils sont plus profonds et se déplacent en reculant,
- Les rigoles ne présentent que 0.6%. Cette valeur faible incohérente avec la vulnérabilité des versants du bassin peut être expliquée par la fugacité des

rigoles facilement effacées par le labour.

#### 4.3. Approche d'intégration

Cette phase de cartographie détermine la priorité des zones d'intervention, selon l'urgence qui dépendra uniquement de la volatilité, du coût et de l'adéquation des interventions.

La carte consolidée du PAP/CAR, produite de l'intégration de toutes les données prédictives et descriptives, a permis l'identification des degrés de stabilité, des processus érosifs dominants et des tendances évolutives à l'intérieur des différentes unités d'érosion.

Elle montre également que les ravins moyennement profonds coïncident avec des zones où le degré d'état érosif est notable à très élevé ; notamment en amont et au milieu du bassin

versant (Fig.6). Ces zones représentent 24% de la superficie du bassin. La présence de ces formes s'explique par la forte pente, l'agressivité des pluies et par une densité nulle à faible du couvert végétal.

La majeure partie du bassin est utilisée comme terres de culture, notamment la céréaliculture. Ces terres comprennent les sols touchés par les

différentes formes d'érosion : en nappe (L2), en rigole (D2), érosion concentrée (C3, C4), badlands (CX) et glissements de terrain (M2).

Les causes expliquant les différents processus érosifs sont la pente, le substrat et, enfin, le facteur humain (labour, surpâturage...etc.), qui est considéré comme le facteur le plus déterminant dans le déclenchement des processus érosifs.

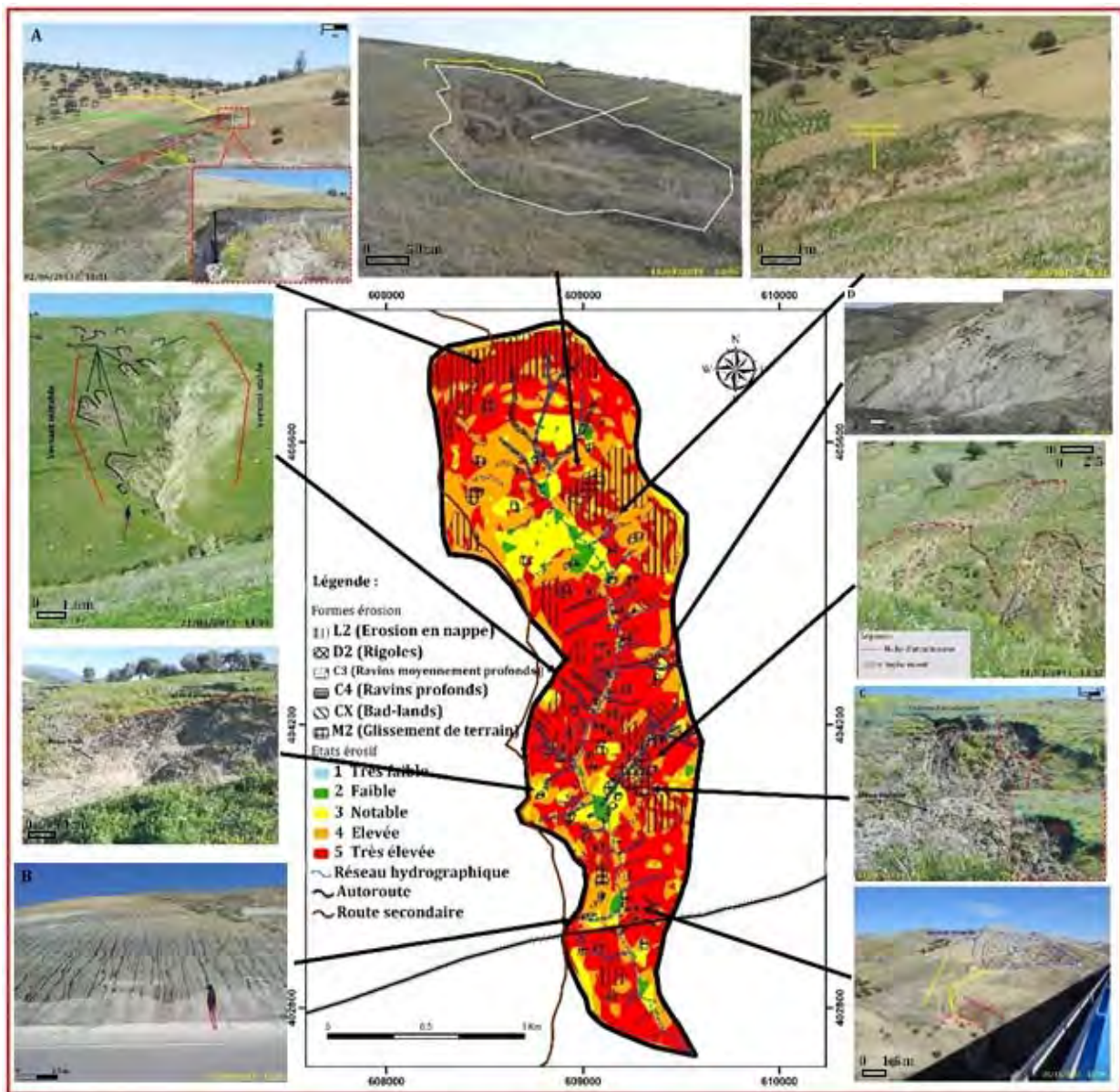


Fig. 6 : Carte consolidée de PAP/CAR du bassin versant de l'Oued Sahb Laghrik

## 5. CONCLUSION

La carte de l'approche prédictive (carte des états érosifs potentiels) fournit des informations sur l'état potentiel de la dégradation des sols en se basant sur les degrés d'influence des différents facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique tel que la pente, la

lithologie et le couvert végétal. La carte fait ressortir trois grandes états, **i)** 84.5% des terrains présentent une forte à très forte érosion hydrique, **ii)** l'érosion notable représente 12%, **iii)** les états d'érosion faible à très faible représentent 5.3%.

La carte de l'approche descriptive montre la



dégradation réelle qui se manifeste par différents processus de l'érosion hydrique, dont l'érosion en nappe représente 53.7% du bassin, 23.6% pour les ravins profonds et moyennement profonds, les badlands représentent 3.8%, 0.6 pour les rigoles et 18.3% représentée par les glissements de terrain.

Cette situation s'explique par l'interaction de plusieurs facteurs tels que les pluies intenses, les pentes fortes (62% de la surface du bassin versant), les terrains imperméables (54.1%) et l'absence du couvert végétal (13%) pouvant protéger et fixer les sols. Ces conditions favorisent le déclenchement des processus d'érosion hydrique et de mouvements de terrain. Ce qui explique les teneurs élevées des taux d'érosion des sols dans le secteur Prérifain.

Devant cette situation de fragilité et de dégradation qui menace profondément les ressources naturelles, l'infrastructure et la population locale, des mesures d'intervention sont absolument nécessaires pour lutter contre ces risques.

## Remerciements

Je tiens vivement à remercier l'évaluateur de cet article pour ces remarques pertinentes qui ont permis de l'améliorer. De même que le personnel de "Arabian Journal of Earth Sciences", notamment le comité de lecture pour ces remarques. Nous tenons à remercier la direction du journal, spécialement Monsieur Abdelouahed LAGNAOUI pour leur disponibilité et son aide.

## Références

- Abahrour M., 2009. 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 p.
- El Aroussi A. El Garouani A., Jabrane R., 2013. Modelling and mapping of soil erosion on the Oued El Malleh catchment using remote sensing and GIS. Journal of Urban and Environmental Engineering (JUEE), v.7, n.2, pp. 302-307.
- Faleh A. & Sadiki A., 2002. Glissement rotationnel de Dhar El Harrag : exemple d'instabilité de terrain dans le Prérif central (Maroc). Bulletin de l'Institut scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, n° 24, pp. 41-48.
- Hili A., 2013. 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, Maroc). Approche cartographique. Mémoire du master, Université Sultan Moulay Slimane, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Béni Mellal, Maroc.151.
- 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. xii-72.<http://www.pap-thecoastcentre.org/pdfs/SoilErosionfr.pdf>
- PNUE., 2000. Directives pour la gestion de programmes de contrôle d'érosion et de désertification plus particulièrement destinées aux zones côtières méditerranéennes. Split, Programme d'actions prioritaires, PNUE/PAM/PAP. pp. 15-86.
- Sadiki A., 2005. 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 <sup>137</sup>Cs et de la susceptibilité magnétique. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Oujda, Maroc. 288 p.
- Tribak A., 1997. Exemple de terrain dans le Prérif oriental (Maroc). Méditerranée n° 1-2, pp. 61-68.