



**استعمال بيانات الاستشعار عن بعد في دراسة وتصنيف تدهور التربة بالحوض المائي لواد تامدة (عالية واد العبيد، أم الربيع)**

عثمان رحيمي<sup>1\*</sup>، عمر أشهبون<sup>2</sup>، يونس بوحافة<sup>3</sup>، محمد الغاشي<sup>4</sup>  
كلية الآداب والعلوم الإنسانية بني ملال، جامعة لسطان مولاي سليمان، بني ملال، المغرب 4:3:2:1

**The use of remote sensing data in the study and classification of soil degradation in the Oued Tamda water basin (Alia Wadi El-Abeid, Umm Ar-Rabi`).**

Otman RAHIMI<sup>1\*</sup>, Omar ACHAHBOUNE<sup>2</sup>, Youness BOUHAF<sup>3</sup>, Mohamed ELGHACHI<sup>4</sup>  
1,2,3,4 Faculty of Arts and Humanities Beni Mellal, University of Sultan Moulay Slimane, Beni Mellal, Morocco

\*Corresponding author: [O.rahimi@usms.ma](mailto:O.rahimi@usms.ma)

Received: June 06, 2023

Accepted: July 19, 2023

Published: July 28, 2023

**المخلص**

يقدم هذا العمل نتائج اعتماد بيانات الاستشعار عن بعد في دراسة تدهور الأتربة بالحوض المائي لواد تامدة الذي يقع بالأطلس الكبير الأوسط، ينتمي إدارياً إلى جهة بين ملال خنيفرة وبالضبط إلى إقليم أزيلال ضمن تراب جماعة تاكلفت وجماعة اسكسي، ويغطي مساحة 29,32 كلم<sup>2</sup>، كما يشكل واد تامدة رافد من الروافد المكونة لواد عبيد، الذي يعد بدوره أحد روافد واد أم الربيع. تمكنا من خلال قياس المؤشرات الطيفية للأتربة أن نستخرج توزيع فئات تدهور الأتربة، فقد تبين إن 28,8% من الأتربة بمجال الدراسة تعد أتربة متدهورة، منها حوالي 11% أتربة جد متدهورة، في حين تشكل الأتربة المتوسطة التدهور 21,4%، في مقابل الأتربة غير المتدهورة التي تغطي 16,6% من مجال الدراسة.

**الكلمات المفتاحية:** الاستشعار عن بعد، تدهور الأتربة، الحوض المائي لواد تامدة، واد أم الربيع.

**Abstract**

This work presents the results of adopting remote sensing data in the study of soil degradation in the water basin of Oued Tamda, which is located in the Middle High Atlas Oued Tamda is a tributary of the tributaries that make up Oued Ubaid, which in turn is one of the tributaries of Oued Umm Ar-Rabi`.

By measuring the spectral indicators of the dust, we were able to extract the distribution of the categories of dust deterioration. It was found that 28.8% of the dust in the field of study is considered degraded dust, of which about 11% is very degraded dust, while medium-degraded dust constitutes 21.4%, compared to non-degraded soils covering 16.6% of the study area.

**Keywords:** Soil Degradation, Basin of Oued Tamda, Spectral Indicators, Oued Umm Ar-Rabi`.

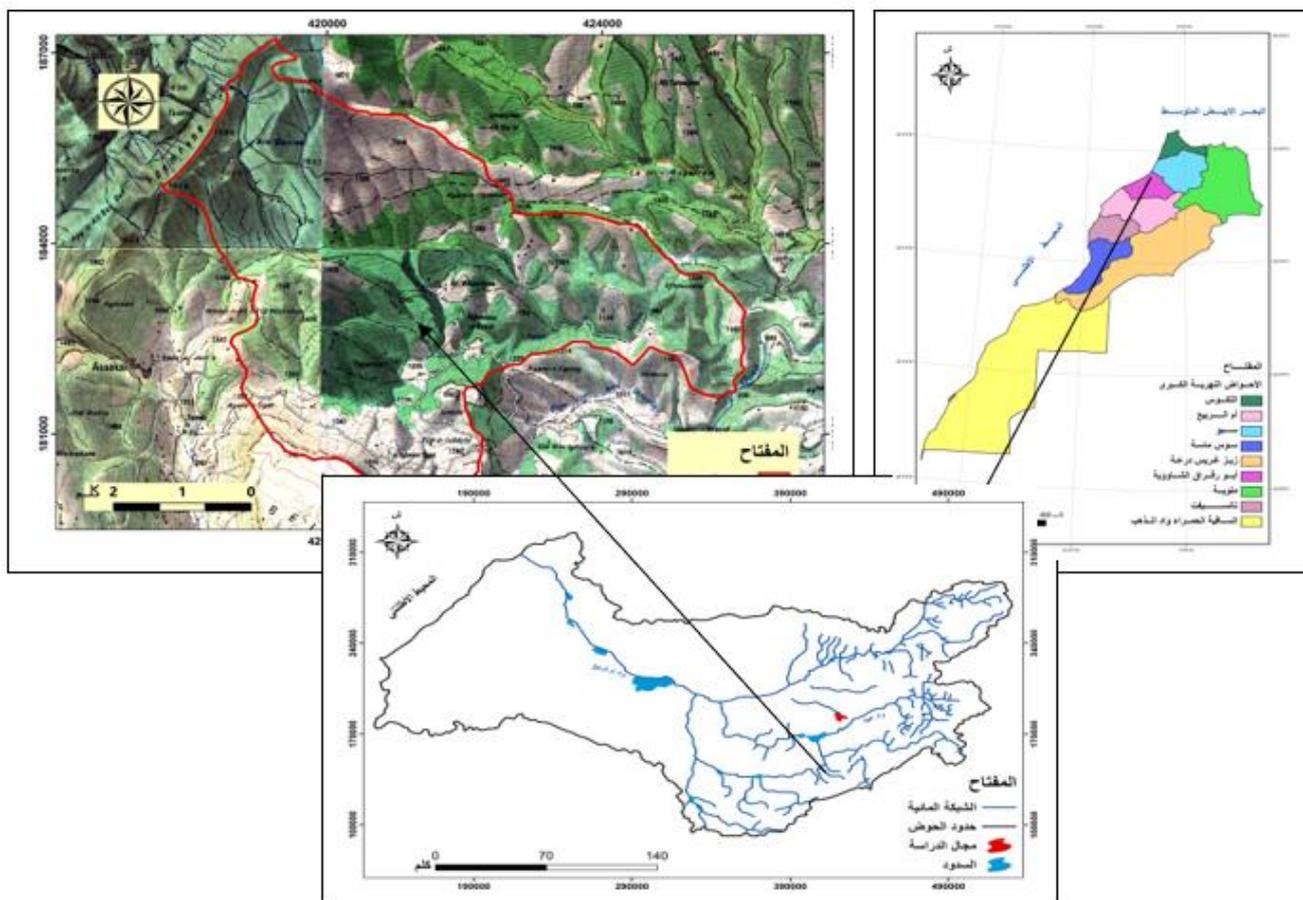
## مقدمة

إن أشكال التدهور البيئي متعددة الأوجه، يمكن اعتبار سوء التدبير والتعامل غير السليم للإنسان مع بيئته واستغلاله العشوائي والمكثف للموارد الطبيعية، من العوامل الرئيسية في زعزعة الانظمة الإيكولوجية والإخلال بالتوازن البيئي ببلادنا. فبدون بيئة سليمة لا تكتمل شروط التنمية المستدامة مهما كان شكل التحديات. "ومن المؤسف أن حجم موارد الأرض تتناقص باستمرار في الوقت الذي تتنامى فيه احتياجات السكان. لذا يتعين على المغرب أن يعي أن تنميته تعتمد في جزء كبير منها على قدرته على حسن تدبير موارده الطبيعية " ( حميد نرجس وآخرون، 2002 ).

تعتبر التعرية من الإشكاليات الكبرى التي يعاني منها الوسط الطبيعي بالمغرب، فحسب تقرير المنظمة العالمية للتغذية والزراعة، فإن 12,5 مليون هكتار من الأراضي الصالحة للزراعة والرعي بالمغرب مهددة بالتعرية المائية، وتلثي الأراضي المحروثة تتطلب إجراءات حماية مستعجلة كما تعرف الطاقة التخزينية للسودود تراجعا يتراوح بين 50 و60 مليون متر مكعب سنويا نتيجة الرواسب المتركمة (علي فالج، 2010) .

## مجال الدراسة

يقع الحوض النهري لواد تامدة بالأطلس الكبير الاوسط، بين خطي عرض  $32^{\circ}10'$  و  $32^{\circ}20'$  شمال خط الاستواء وخطي طول  $6^{\circ}10'$  و  $6^{\circ}20'$  غرب خط غرينتش. ينتمي اداريا الى جهة بين ملال خنيفرة وبالضبط الى إقليم أزيلال ضمن تراب جماعة تاكلفت وجماعة اسكسي، يغطي مساحة 29,32 كلم<sup>2</sup>، كما يشكل واد تامدة رافد من الروافد المكونة لواد عبيد، الذي يعد بدوره أحد روافد واد أم الربيع.



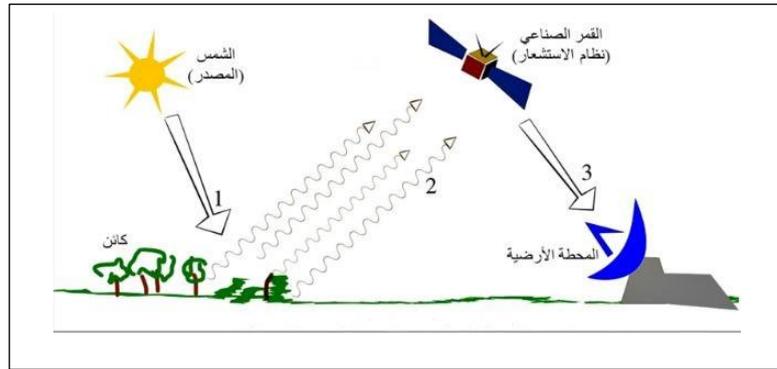
الخريطة رقم (1): الموقع الجغرافي لحوض واد تامدة وطنيا، جهويًا ومحليًا.

## الإشكالية ومنهجية العمل

بفضل بيانات الاستشعار عن بعد التي تغطي مجال الدراسة، يمكننا تتبع دينامية المجال، بحيث تشكل صور الأقمار الاصطناعية وثائق جد مهمة ذات معلومات لا متناهية نظرا لتوفرها على التغطيات غير المرئية التي يصعب للعين المجردة إدراكها على أرض الواقع، وهنا تكمن أهمية هذا العلم الذي يقوم على أساس التحليل البصري والطيفي للبيانات الشيء الذي يتطلب الجمع بين الجغرافيا بجميع تخصصاتها وبين الفيزياء والرياضيات وغيرها من العلوم الأخرى. وقبل العمل على بيانات الاستشعار عن بعد قمنا بانتقاء وتصحيح صور الأقمار الاصطناعية التي سنعمل عليها.

### 1. التصحيح الإشعاعي لصور الأقمار الاصطناعية

تعتبر الشمس المصدر الأساسي في صور الأقمار الاصطناعية لاندسات landsat ، باستثناء النطاق السادس بالأشعة تحت الحمراء الحرارية، الذي يعتمد على الإشعاع الحراري المنبعث من الأجسام بغض النظر عن وجود مصدر ضوئي. ترسل الشمس الأشعة على شكل طاقة كهرومغناطيسية فتنشر هذه الأشعة حتى تصل إلى الأرض فتتفاعل مع الهدف، وتصل الأشعة الكهرومغناطيسية المنبثة أو المنعكسة من الأرض إلى الفضاء ليستقطبها القمر الصناعي.



الشكل رقم (1): المنهجية المعتمدة في الاستشعار عن بعد

هناك عدة أنواع من الأخطاء التي يمكن أن تظهر في بيانات الاستشعار عن بعد ويمكن تصحيحها بواسطة عمليات التصحيح الإشعاعي الراديومتري والهندسي. فالنسبة لصور الأقمار الاصطناعية لاندسات المتوفرة عبر الإنترنت بالمستوى level OG، أي أنها خضعت فقد لتصحيح هندسي بسيط. ولهذا يتطلب منا القيام ببعض العمليات الحسابية المعقدة للوصول إلى المستوى level 3A الخاص بالصور المصححة إشعاعيا، لأن جميع هذه الصور تحتوي على أخطاء إشعاعية تتعلق بالاختلاف في شدة انعكاس البكسل والتي لا يكون سببها هو المشهد الذي تم مسحه بل يشمل كذلك تأثيرات طبوغرافية وأخرى جوية بالإضافة إلى قصور هندسي في عمل الكواشف. كما هو الحال بالنسبة لسلسلة الأقمار landsat 7 التي تحتوي على خطوط سوداء (جمال شعوان، 2015).

تكمن أهمية التصحيح الإشعاعي في إعطاء القيمة الحقيقية الانعكاسية لجسم معين في المشهد، إذ أن هذه القيمة هي التي تمثل الخواص الفيزيائية للأجسام التي تم استشعارها عن بعد ولكن الأمر يختلف بالنسبة للحزم الحرارية إذ نقوم بحساب الحرارة لكنها من صنف الأشعة المنبثة وليس المنعكس.

## 2. المؤشرات الطيفية المعتمدة

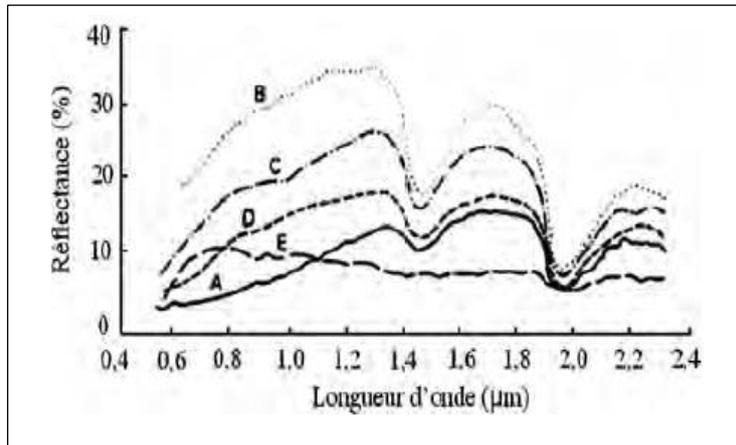
تم تطوير العديد من المؤشرات الطيفية بهدف استخراج خصائص وضعية تدهور الأثرية، حيث ان أعمال كل من Escadafal' (2007)، و Chikhaoui (2005)، و Chikhaoui (1994). بينت أن الخصائص الطيفية للتربة مرتبط بمستوى تدهورها، وبوضعية السطح و المكونات الفزيوكيماوية.

قد أثبتت العديد من الدراسات مدى أهمية استعمال المؤشرات الطيفية المستخرجة من منحى الانعكاس الخاص بالأثرية، (Maimouni, 2011) مثل مؤشر الشكل (IF) l'indice de forme، مؤشر اللون (IC) l'indice de coloration، ومؤشر اللعان (IB) l'indice de brillance، تم استعمال هذه المؤشرات بشكل واسع لاستخراج وضعية الأثرية في المناطق الجافة و شبه الجافة في تونس و الشيلي، اسبانيا، المغرب... (Mougenot et Cailleau, 1995; Haboudane et al., 2002; Bannari et al., 2007).

في إطار هذا العمل، سنعتم بالمؤشرات الطيفية التالية:

### 1.1. مؤشر الشكل (IF) l'indice de forme:

هذا المؤشر يصف شكل منحى طيف الانعكاس الذي يرتبط بالخصائص الفزيوكيماوية للهدف المدروس. حيث يسمح باستخراج مختلف مستويات تدهور الأثرية في المناطق شبه الجافة، العديد من الأبحاث بينت أهمية إدماج حزم من مجال الأشعة تحت الحمراء التي تتميز بطول موجي قصير في حساب مؤشر الشكل، ومن أجل تحسن نتائج دراسة تدهور الأثرية (Chikhaoui, 2005 ; Haboudane et al., 2002)



الشكل رقم (2): العلاقة بين الشكل العام لطيف الانعكاس وتدهور التربة

المصدر: (S. Maimouni وآخرون 2011)

نجد أن الأثرية المتطورة لديها شكل منحى طيف الانعكاس شبيه بالمنحنى C و D بالشكل رقم (24)، حيث أنه يحتوي على مجالات امتصاص تؤثر على تطور القطاع التراي، كما أن هذه الأثرية تتميز بانعكاس ضعيف. في المقابل الأثرية المتدهورة تتميز بشكل منحى طيف الانعكاس شبيه بالمنحنى B، ولديها مستوى انعكاس كبير. عموما اختلاف الانعكاس من تربة الى أخرى مرتبط بشكل مباشر مع تواجد أو غياب مجالات امتصاص أكاسيد الحديد والمادة العضوية.

## 1.2. مؤشر اللون (IC) :l'indice de coloration

يعد اللون عنصر أساسي في استخراج خصائص التربة، على اعتبار أنه يعكس المكونات المعدنية والغنى بالمادة العضوية الموجودة فيها. (Irons, 1989).

المادة العضوية تعطي للتربة لون داكن، فيها أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد تعطي لون فاتح، كما أن كربونات الكالسيوم تعطي لون فاتح. في النطاقات الجافة، بحيث تواجد الدروع والقشرات الجبسية والكلس الشيء الذي يتسبب في ضعف لون التربة (Belghith, 2003). كما أن أساليب التعرية المائية التي تتدخل لتأتي على المسكة العليا الغنية بالمادة العضوية، تعطي لون جد فاتح وأكثر لمعان، أو أنها تأتي على القطاع الترابي بكامله حتى تظهر الركيزة الصخرية الشيء الذي يعطي لون مخالف عن الأتربة السليمة. (Haboudane, 1999).

قام Escadafal و مجموعة من الباحثين سنة (1994) بتبسيط مؤشر اللون ليصبح علاقة بسيطة بين الحزم الحمراء و الزرقاء، كما يجب الإشارة أن انعكاس الطيف الكهرومغناطيسي في المجالات الجافة و شبه الجافة يتأثر بظاهرة الامتصاص بفعل أكاسيد الحديد.

## 1.3. مؤشر اللمعان (IB) :l'indice de brillance

يمكن مؤشر اللمعان من تحديد الانعكاس العام لهدف معين في المجال المرئي وقرب الأشعة تحت الحمراء (El Alaoui, 2011)، على اعتبار أنه يعطي متوسط لمعان الصورة. اذن هذا المؤشر هو حساس للمعان التربة، كما انه مرتبط بنسبة الرطوبة وتواجد الاملاح في السطح.

يسمح هذا المؤشر كذلك بالفصل بين مجال امتداد الغطاء النباتي ومجال السطح العاري، ويبدو هذا الامر جد واضح عندما تكون التربة جافة وواضحة (رمال سليسية، قشرات جبسية). كما تبين أن هذا المؤشر جد مترابط مع أكسيد الحديد المتواجدة بالكثبان الرملية في النطاق شبه الجاف (Levin, 2005).

في الأول تم تحليل وتجريب استعمال حزم المجال المرئي، على اعتبار ان تطور هذه المؤشرات انطلق في الأول من الاعتماد فقط على حزم المجال المرئي، مع مرور الوقت تم دمج حزم قرب المجال تحت الحمراء ووسط مجال الاشعة تحت الحمراء (Maimouni, 2011; Chikhaoui, 2007; Bannari, 2008)، حيث تم استغلال الغنى الطيفي الجديد مع جهاز الاستقبال OLI وبالتالي تحسنت جودة النتائج. كما تم تأكيد هذه الاختيارات انطلاقا من النتائج المقنعة التي حصل عليها (Maimouni 2013) الذي طور هذه المؤشرات باستعمال حزم نفس جهاز الاستقبال OLI في الاطلس الكبير.

مؤشر الشكل (IF) :l'indice de forme

$$IF = \frac{(2 \times O_{li4} - O_{li3} - O_{li2})}{(O_{li3} - O_{li2})} \quad (1)$$

$$IF = \frac{(2 \times O_{li7} - O_{li5} - O_{li2})}{(O_{li5} - O_{li2})} \quad (4)$$

مؤشر اللون (IC) :l'indice de coloration

$$IC = \frac{(O_{li4} - O_{li2})}{(O_{li4})} \quad (2)$$

$$IC = \frac{(O_{li5} - O_{li2})}{(O_{li2})} \quad (5)$$

مؤشر اللمعان (IB) :l'indice de brillance

$$IB = \frac{\sqrt{Oli2^2 + Oli3^2 + Oli4^2}}{3} \quad (3)$$

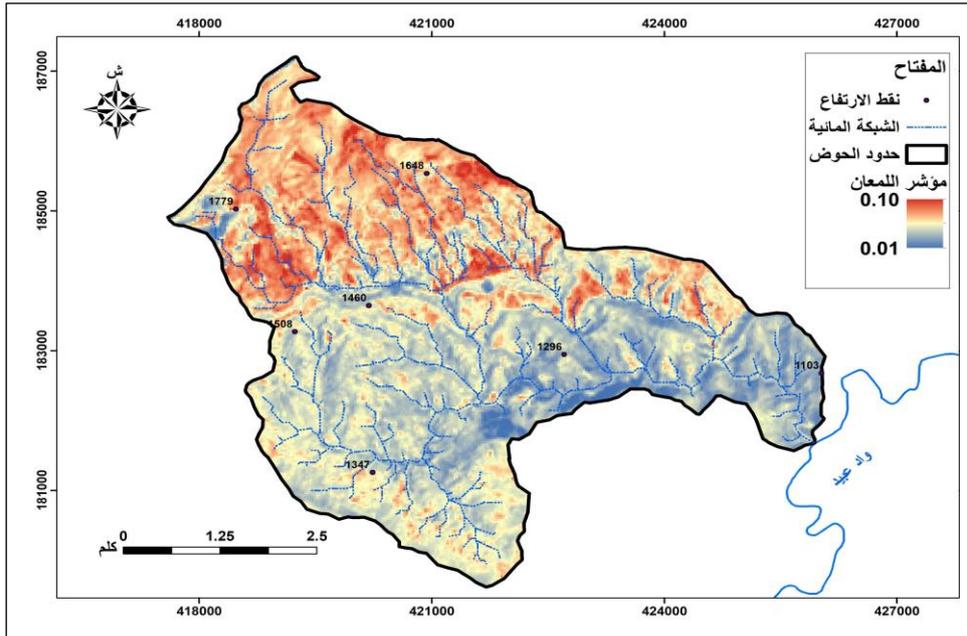
$$IB = \sqrt{Oli4^2 + Oli5^2 + Oli6^2} \quad (6)$$

من أجل الوصول الى أهدافنا من خلال استعمال الاستشعار عن بعد، سنعتمد على ثلاث حزم جديدة تمثل المؤشرات الثلاث والتي سيتم من خلالها استخراج خريطة مستويات تدهور التربة، كذلك تمثل وضعية السطح، في النهاية يتم القيام بوصف نهائي للفئات تدهور التربة في مجال الدراسة.

### النتائج والمناقشة

من أجل استخراج المؤشرات الطيفية المتعلقة بتدهور التربة، تم الاعتماد على صور الأقمار الاصطناعية لندسات 8، حيث قمنا بإخضاع هذه الصور للعمليات التصحيح الجيومتري والتصحيح الطيفي من أجل أن تصبح قابل الاستعمال، بعد ذلك تم ادخال هذه الصور الى برنامج TerrSet 12 بهدف حساب المؤشرات الطيفية الخاصة بتدهور التربة (مؤشر الشكل، مؤشر اللون، مؤشر اللمعان) ثم في النهاية قمنا بدمج هذه المؤشرات لنستخرج خريطة تدهور التربة .

### 1. مؤشر اللمعان:

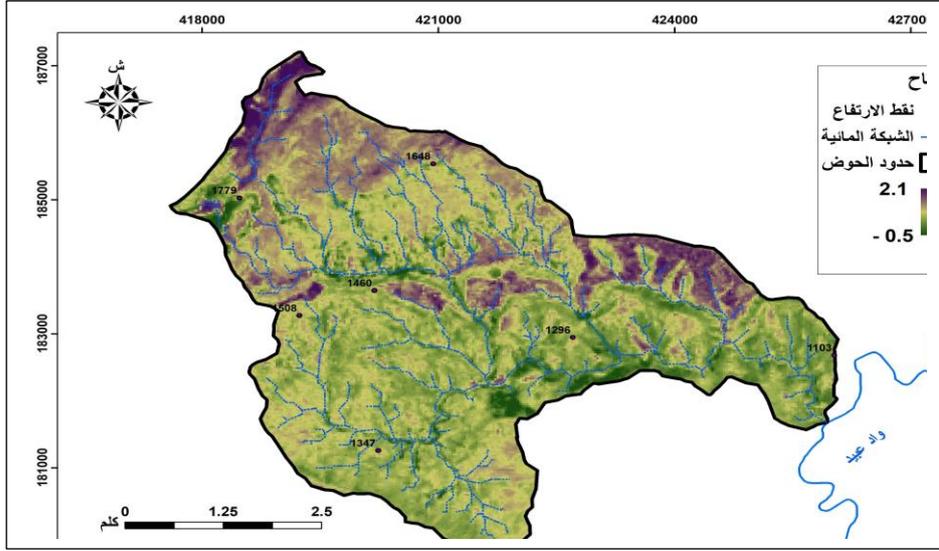


### الخريطة رقم (2): التوزيع المجالي لمؤشر اللمعان داخل مجال الدراسة

المصدر: صور الأقمار الاصطناعية لسنة 2023

يتبين من خلال الخريطة رقم (2) أن مؤشر اللمعان يتراوح بين 0,01 و 0,1، كما يعرف هذا المؤشر توزيع جد متباين، بحيث أن أكبر القيم تتركز بشكل جد واضح في شمال وعالية الحوض، في المقابل أدنى القيم تهيمن على جنوب وسافلة الحوض. فكما ذكرنا سابقا مؤشر اللمعان يفصل بشكل جيد بين مجال امتداد الغطاء النباتي والأراضي العارية، وبالتالي حسب هذا التحليل فالمناطق المتواجدة في شمال وعالية الحوض تعد مناطق جد معنية بتدهور التربة على اعتبار أنها مناطق شبه عارية من الغطاء النباتي، ويفسر هذا الأمر بكون هذه المناطق تعرف كثافة مرتفعة للمجري المائي والتي ترتبط بهيمنة تكوينات الصخرية هشة وغير نافذة وانتشار كبير للانحدارات القوية.

## 2. مؤشر الشكل:

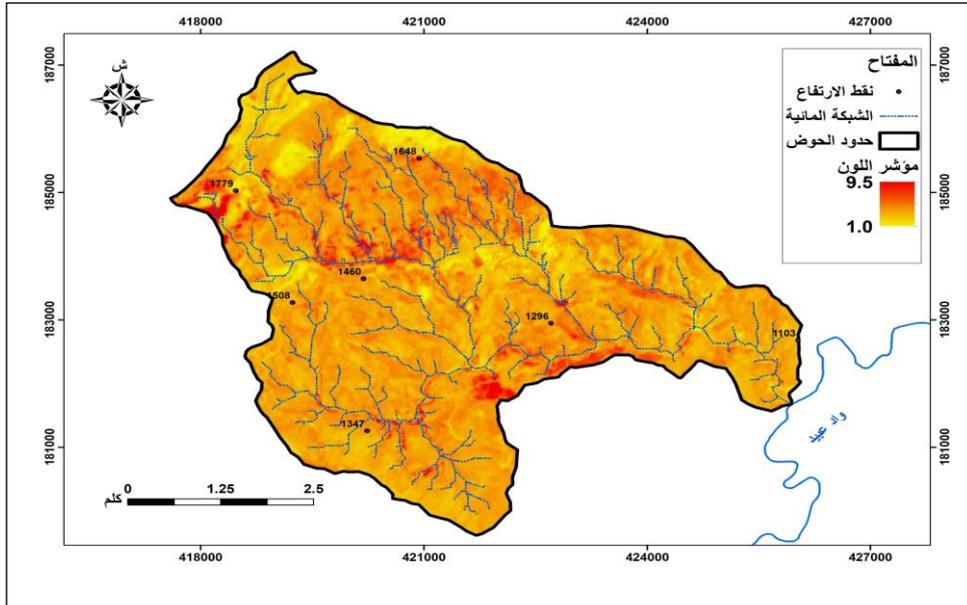


الخريطة رقم (3): التوزيع المجالي لمؤشر الشكل داخل مجال الدراسة

المصدر: صور الأقمار الاصطناعية لسنة 2023

يتبين من خلال الخريطة رقم (3) أن التوزيع المجالي لمؤشر الشكل داخل مجال الدراسة، يتراوح بين -0,5 و 2,1. كما يلاحظ أن القيم العليا لمؤشر الشكل تتركز بشكل واضح في شمال وعالية الحوض، فيما أن أدنى القيم تنتشر في باقي مجالات الحوض وبالخصوص في السافلة. وباعتبار أن مؤشر الشكل يربط بين مستوى انعكاس الأتربة وتدهورها حيث أن الأتربة ذات المستوى الانعكاسي الكبير هي أتربة تعرف تدهور كبير والعكس بالنسبة للأتربة ذات المستوى الانعكاسي الضعيف، بحيث أن اختلاف الانعكاس من تربة الى أخرى مرتبط بشكل مباشر مع تواجد أو غياب مجالات امتصاص أكاسيد الحديد والمادة العضوية. وبالتالي حسب هذا المؤشر فالمناطق المتواجدة في شمال وعالية الحوض تعد مناطق ذات أتربة متدهورة.

## 3. مؤشر اللون:



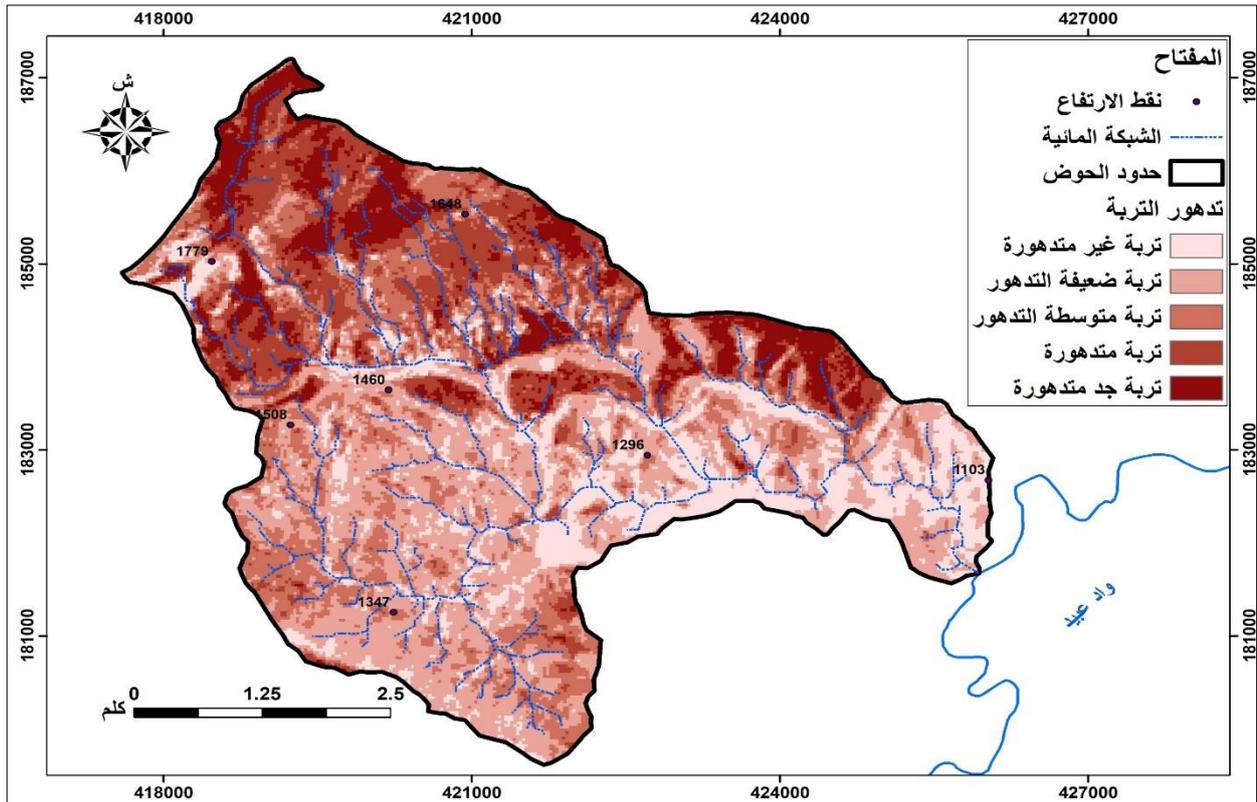
الخريطة رقم (4): التوزيع المجالي لمؤشر اللون داخل مجال الدراسة

المصدر: صور الأقمار الاصطناعية لسنة 2023

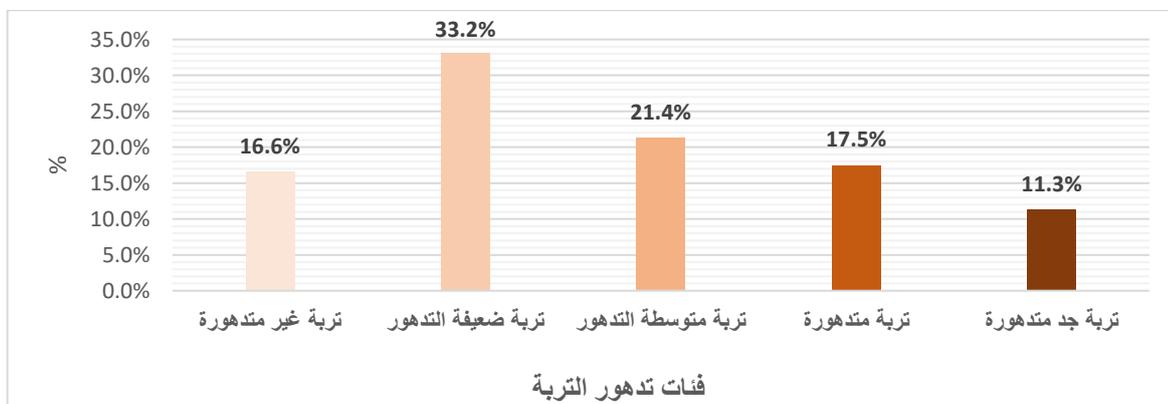
يتبين من خلال الخريطة رقم (4) التوزيع المجالي للمؤشر اللون داخل مجال الدراسة، حيث يلاحظ أن أكبر قيم هذا المؤشر تتوزع بشكل متناثر في مناطق مختلفة من الحوض، عموما المناطق التي تعرف قيم مرتفعة لمؤشر اللون هي مناطق ذات أترية غنية بالمادة العضوية، في المقابل المناطق التي تعرف القيم المنخفضة لمؤشر اللون هي مناطق ذات أترية غنية بهيدروكسيدات الحديد، وبالتالي فالمناطق ذات القيم الكبيرة لمؤشر اللون تعد مناطق مستقرة بالمقارنة مع المناطق الأخرى.

#### 4. خريطة تدهور الأترية

بعد دراسة كل مؤشر على حدا، قمنا بدمج المؤشرات الطيفية الثلاث من أجل الحصول على خريطة توزيع تدهور الأترية داخل مجال الدراسة.



الخريطة رقم (5): توزيع فئات تدهور التربة حسب المؤشرات الطيفية



الشكل رقم (3): توزيع فئات تدهور التربة حسب المؤشرات الطيفية

تمثل الخريطة رقم (5) توزيع فئات تدهور الأتربة التي تم إنجازها انطلاقاً من الاعتماد على المؤشرات الطيفية للتربة، يتبين من خلال هذه الخريطة والشكل رقم (3) التوزيع المتباين للفئات تدهور الأتربة، حيث أن 28,8% من الأتربة بمجال الدراسة تعد أتربة متدهورة، منها حوالي 11% أتربة جد متدهورة، في حين تشكل الأتربة متوسطة التدهور 21,4%، في المقابل الأتربة غير المتدهورة تغطي 16,6% من مجال الدراسة.

مجالياً تتركز فئات الأتربة المتدهورة والتدهور جداً بشكل واضح بعالية وشمال الحوض حيث نجد انتشار تكوينات صخرية هشّة كالصلصال ومجالات شبه عارية من الغطاء النباتي، في المقابل نجد في سافلة ووسط الحوض انتشار فئات الأتربة ضعيفة التدهور وغير المتدهورة، يفسر هذا التوزيع بكون هذا الجزء من الحوض يعرف هيمنة صخر الحث المعروف بمقاومته العالية، وانتشار مهم للغطاء النباتي.

## خاتمة

أبرز تشخيص مكونات الوسط الطبيعي للحوض المائي لواد تامدة ظهور مجموعة من المؤشرات المتداخلة فيما بينها، تجعل من هذا الوسط مجالاً ذا هشاشة مرتفعة، جعلته أكثر تعرضاً لمختلف ميكانيزمات تدهور منظومته البيئية، إذ تجمعت كل الظروف الملائمة لتسريع آليات تدهور التربة، المتجلية في عنف التساقطات المطرية والانتشار الكبير للصخور الهشة الضعيفة المقاومة، وكذا ارتفاع درجات الانحدار. بالإضافة إلى هذه العوامل ساهم التدخل البشري في استفحال الظاهرة والزيادة في مسلسل التدهور بعد الاجتثاث المتواصل للمجالات الغابوية والرعي الجائر، وبفعل الاستغلال المكثف لجمع المجالات الزراعية، بما فيها الهامشية منها والموجودة فوق السفوح ذات الانحدارات القوية.

تمكنا من خلال قياس المؤشرات الطيفية للأتربة أن نستخرج توزيع فئات تدهور الأتربة، فقد تبين إن 28,8% من الأتربة بمجال الدراسة تعد أتربة متدهورة، منها حوالي 11% أتربة جد متدهورة، في حين تشكل الأتربة المتوسطة التدهور 21,4%، في مقابل الأتربة غير المتدهورة التي تغطي 16,6% من مجال الدراسة.

## المراجع

- [1] أبهرور محمد 2009: إسهام في التقييم الكمي للتعرية المائية بمقدمة الريف الشرقي (نموذج حوض واد الثلاثاء). أطروحة لنيل الدكتوراه في الجغرافية، جامعة سيدي محمد بن عبد الله، كلية الآداب والعلوم الإنسانية سايس- فاس، 269 ص.
- [2] شعوان جمال 2014: توظيف الاستشعار عن بعد في دراسة تطور استعمال التربة بحوض واد امزاز بين 1962 و 2014 مختبر الأبحاث والدراسات الجغرافية والتهيئة الخرائطية، كلية الآداب والعلوم الإنسانية سايس- فاس. 14 ص.
- [3] فالح علي 2010: التقييم النوعي والكمي لانجراف التربة بالريف الأوسط حوض أكنول نموذجاً. منشورات جمعية تطوان أسمير، 184 ص.
- [4] عبد الله لعويبة 1984: التمثيل الكروغرافي للدينامية البيئية في السهول المتوسطة نصف الجافة. مثال خريطة تريفية"، مجلة جغرافية المغرب، العدد الثامن.
- [5] نافع رشيدة وعبد الرحيم وطفة 2011: التعرية المائية وأثرها في تدهور التربة: تحليل المظاهر ومناهج القياس. بحوث مجلة كلية الآداب والعلوم الإنسانية، رقم 6، جامعة الحسن الثاني كلية الآداب والعلوم الإنسانية، المحمدية، ص: 22.
- [6] حميد نرجس وآخرون: تدهور الموارد الطبيعية في المغرب-الواقع المنظور وبرنامج العمل الوطني من أجل محاربة التصحر-مطبوعات أكاديمية المملكة المغربية (د/ الخريفية 20-22 / 2000) / ص: 230 .
- [7] -كتابة الدولة المكلفة بالماء و البيئة - مجلة البيئة / العدد السابع / يناير- مارس 2011 - المغرب / ص: 14
- [8] مديرية إعداد التراب الوطني (2002): البيئة في المغرب 10 سنوات بعد ريو- وزارة إعداد التراب الوطني والبيئة والتعمير والإسكان- 2002 / ص: 31.

- [9] Abdelkader El Garouani, et Autres 2007 : Cartographie des zones à risque d'érosion hydrique : exemple du haut atlas marocain. Université Cadi Ayyad, Faculté des sciences et techniques. 230 pages.
- [10] Aude Nuscia Taibi, Yahia El Khalki, Mustapha El Hannani, 2015 : ATLAS REGIONAL REGION du TADLA AZILAL MAROC, page : 26.
- [11] Bannari R., Kerdouss F., Selma B., Bannari A. Proulx P. 2008. Three-Dimensional Mathematical Modeling of Dispersed Two-Phase Flow Using Class Method of Population Balance in Bubble Columns. *Computers and Chemical Engineering*, p. 32, 35-37.
- [12] Bannari A., El-Harti A., Haboudane I., Bachaoui M., El-Ghmari A. 2007. Intégration des variables spectrales et géomorphologiques dans un SIG pour la cartographie des aires exposées à l'érosion. *Téledétection*, vol. 7, n° 1-2-3-4, p. 327-342.
- [13] Belghith A. 2003. Les indicateurs radiométriques pour l'étude de la dynamique des écosystèmes arides (région de Zougrarta, Sud-Est tunisien). *Revue Sécheresse*, Vol. 14, no 4, p. 267\_274.
- [14] Chikhaoui M., Bonn F., Bokoye A.I., Merzouk A. 2006. Comparaison des capteurs ASTER et ETM+ pour la cartographie de la dégradation des sols à l'aide de l'indice LDI. *Can. J. Remote Sensing*, vol. 32, p. 74-83.
- [15] Chikhaoui M. 2005. Apport des données ASTER et d'un réseau de neurones à rétropropagation à la modélisation de la dégradation du sol d'un bassin marneux du Rif marocain. Thèse de doctorat en télédétection. Université de Sherbrooke.
- [16] Chikhaoui, M., Bonn F., Merzouk A., Lacaze B., Mejjati A.M. 2007. Cartographie de la dégradation des sols à l'aide des approches de Spectral Angle Mapper et des indices spectraux utilisant des données ASTER. *Revue Télédétection*, vol. 7, n°. 1-2-3-4, p. 343-357.
- [17] El Alaoui H. 2011. Caractérisation spectrale de l'état de dégradation des sols dans le bassin versant Tleta à partir des données ASTER. Mémoire du 3ème cycle. Management des ressources en sols et en eaux. Institut agronomique et vétérinaire Hassan 2, Rabat, Maroc.
- [18] Escadafal R. 1989. Caractérisation de la surface des sols arides par observations de terrain et par télédétection, Applications : exemple de la région de Tataouine (Tunisie). Editions de l'ORSTOM. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération. Collection Etudes et Thèses. Paris. France. 314 p.
- [19] FAO. 1975. Lutte contre l'érosion et conservation des sols au Maroc : analyse des problèmes de l'érosion à l'échelle nationale.
- [20] Haboudane D. 1999. Intégration des données spectrales et géomorphométriques pour la Caractérisation de la dégradation des sols et l'identification des zones de susceptibilité à l'érosion hydrique. Thèse de doctorat, Département de géographie et télédétection, Faculté des lettres et sciences humaines, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec.
- [21] Levin N., Ben Dor E., Singer A. 2005. A digital camera as a tool to measure color indices and related properties of sandy soils in semi-arid environments. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, no 24, p. 5475\_5492.
- [22] Maimouni S., Emran A., El Garouani A., Ibouh H. 2011. Exploitation des données du capteur ADVANCED LAND IMAGER et du Modèle Numérique d'Altitude pour la cartographie de l'érosion hydrique dans le pourtour du barrage Hassan 1er au Maroc. Thèse

pour l'obtention du doctorat. Université Sultan Moulay Slimane, faculté des sciences et techniques, Béni mellal.

- [23] Maimouni S., Bannari A., El Harti A., El Ghmari A. 2013. Potentiels et limites des indices spectraux pour caractériser la dégradation des sols en milieu semi-aride. *Can. J. Remote Sensing*, vol. 37, n° 3, pp. 285-301.
- [24] Nasl'haj Y. 2009. Evaluation de l'érosion des sols et proposition d'aménagement du bassin versant à l'amont du barrage Hassan II, haute Moulouya, Maroc. Mémoire du 3ème cycle ingénieur. Sciences du sol. Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc.
- [25] Irons, J.R., Weismiller, R.A., et Petersen, G.W. 1989. Soil reflectance. Sous la direction de G. Asrar. Dans *Theory and applications of optical remote sensing*. John Wiley & Sons, Inc., New York. p. 66\_106.
- [26] STONE.R.P ET HILBORN.D. (2000): Équation universelle des pertes en terre (usle) , COMMANDE N° 00-002 , 8 p .