وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة زيان عاشور– الجلفة
كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم علوم الأرض والكون

مذكرة مقدّمة لاستكمال متطلبات الحصول على شهادة الماستر الأكاديمي

تخصص: تهيئة ريفية وتنمية مستدامة

عنوان المذكرة

آلية تثبيت الكثبان الرملية

- ولاية المنيعة -

إعداد الطالبة:
– سولاف بوصبيع

تحت إشراف الأستاذ:
عادل بوسعيد

لجنة المناقشة:

د. عاطف فوفو	جامعة الجلفة	رئيسا
د. عادل بوسعيد	جامعة الجلفة	مشرفا
د. سعد شينون	جامعة الجلفة	ممتحن

الموسم الجامعي: 2026/2025

إهـــــــــــداء

إلى والديّ العزيزين، منبع الحنان والدعم، اللذين لم يبخلا عليّ يوماً بالنصيحة الغالية والدعاء الصادق، فكانا نعم السند في هذه الرحلة.

إلى إخوتي الأعزاء، الذين كانوا سندي وعوني في كل مراحل حياتي، ورفقاء درب لا أنسى لهم جميلاً.

إلى الأستاذ المشرف الدكتور **عادل بوسعيد**، وإلى شخصه الكريم **نفسه**، الذي تفضّل بالإشراف والتوجيه، فكان لي خير معين ومرشد.

أهدي ثمرة هذا الجهد المتواضع

سولاف بوصبيع

شكر وعرفان

الحمد لله رب العالمين الذي بنعمته تتم الصالحات والصلاة والسلام على أشرف المرسلين سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين.

أتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى الأستاذ المشرف الدكتور **عادل بوسعيد** الذي لم يبخل عليّ بتوجيهاته القيمة وإرشاداته العلمية طوال فترة إنجاز هذا العمل فكان خير معين وسند. كما أشكر جميع الأساتذة الذين ساهموا في تكويني طيلة مسيرتي الدراسية وإلى الزملاء والزميلات الذين رافقوني في هذا المسار الأكاديمي. والشكر موصول إلى كل من مدّ لي يد العون من قريب أو بعيد في إنجاز هذه المذكرة.

قائمة الاختصارات

الاختصار	الشرح
ANGEM	الوكالة الوطنية للنفايات (Agence Nationale des Déchets)
CDARS	مفوضية تطوير الزراعة في المناطق الصحراوية (Coissariat au Développement de l'Agriculture des Régions Sahariennes)
CRSTRA	مركز البحث العلمي والتقني للمناطق الجافة (Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides)
DGF	المديرية العامة للغابات (Direction Générale des Forêts)
DSA	مديرية المصالح الفلاحية (Direction des Services Agricoles)
DTP	مديرية الأشغال العمومية (Direction des Travaux Publics)
FAO	منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (Food and Agriculture Organization)
HCDS	المحافظة السامية لتطوير السهوب (Haut Coissariat au Développement de la Steppe)
INRF	المعهد الوطني للبحوث الغابية (Institut National de Recherche Forestière)
MATE	وزارة التهيئة العمرانية والبيئة (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement)
MTP	وزارة الأشغال العمومية (Ministère des Travaux Publics)
ONM	المكتب الوطني للأرصاد الجوية (Office National de la Météorologie)
PDAU	مخطط التهيئة والتعمير (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme)
PNDA	المخطط الوطني للتنمية الفلاحية (Plan National de Développement Agricole)
POS	مخطط شغل الأراضي (Plan d'Occupation des Sols)
RN	الطريق الوطني (Route Nationale)
UNESCO	منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)

قائمة الأشكال

الشكل رقم 1: التمثيل التخطيطي لآليات النقل الريحي (حسب Bagnold, 1941) 12
الشكل رقم 4: وردة الرياح لمحطة الأرصاد الجوية بالمنيعة..... 26
الشكل رقم 5: رسم بياني مطري حراري (Bagnouls و Gaussen) لولاية المنيعة 2024 27
الشكل رقم 6: رسم بياني مناخ Emberger لولاية المنيعة 2024 29

قائمة الخرائط

خريطة رقم 1: موقع ولاية المنيعة 21
خريطة رقم 2: خريطة جيولوجية مبسطة لولاية المنيعة 23
خريطة رقم 3: خرائط مؤشرNDVI ولاية المنيعة للسنوات 1985، 2005، 2025 60
خريطة رقم 4: خريطة التطور المكاني لمؤشر NDVI بين 1985 و2025 لولاية المنيعة 61

قائمة الصور

الصورة رقم 1: التثبيت الميكانيكي باستعمال حواجز سعف النخيل 39
الصورة رقم 2: فعالية التثبيت المكانيكي والبيولوجي..... 44
الصورة رقم 3: الحزام الأخضر من أشجار (الطرفا) واحة حاسي القارة..... 45
الصورة رقم 4: صور القمر الصناعي Landsat 9-8..... 55

قائمة الجداول

الجدول رقم 1: متوسط درجات الحرارة بالمنيعة لسنة 2025 24
الجدول رقم 2: متوسط كميات التساقط بالمنيعة لسنة 2025..... 25
الجدول رقم 3: متوسط سرعة الرياح الشهرية (م/ثا) بمحطة المنيعة لسنة 2024..... 26
الجدول رقم 4: نتائج التحليل الحبيبي لعينات الرمل من الكثبان النشطة بولاية المنيعة..... 30
الجدول رقم 5: مقارنة بين التقنيات الميكانيكية التقليدية والحديثة في المنيعة 40
الجدول رقم 6: مقارنة أداء الأصناف النباتية في التثبيت البيولوجي بموقع حاسي القارة..... 43
الجدول رقم 7: تطور مساحات الكثبان الرملية النشطة في ولاية المنيعة (2000–2024)..... 53
الجدول رقم 8: جدول الإحصائيات الوصفية لمؤشر NDVI خلال الفترات المدروسة..... 57
الجدول رقم9 : الآتي المساحات والنسب المئوية الخاصة بكل فئة خلال سنوات الدراسة 58
الجدول رقم 10: مقارنة أولية بين التثبيت التقليدي والتثبيت الجيوتقني المقترح 66

فهرس المحتويات

إهـــــــــــداء
شكر وعرفان
قائمة الاختصارات
قائمة الأشكال
قائمة الخرائط
قائمة الصور
قائمة الجداول
فهرس المحتويات
مقدمة 1
1. إشكالية الدراسة..... 2
2. فرضيات الدراسة..... 3
3. أهمية الدراسة وأهدافها 3
4. منهجية الدراسة وأدواتها..... 4
5. حدود الدراسة وصعوباتها 5
7.هيكل الدراسة 5

الفصل الأول: الإطار النظري ومفاهيم الدراسة

تمهيد..... 8
1. ظاهرة التصحر وزحف الرمال: مفاهيم وتعريفات..... 9
1.1 ظاهرة التصحر وزحف الرمال: مفاهيم وتعريفات 9
2.1 زحف الرمال: التعريف والآليات 9
3.1 العوامل المسببة لزحف الرمال 10
2. ديناميكية النقل الريحي: الأسس الفيزيائية..... 11
1.2 آليات حركة الحبيبات الرملية..... 11
2.2 معادلة باغنولد: بين العتبة والطاقة..... 12
3.2 العتبة الحرجة لتحريك الرمال 13
3. تاريخ سياسات مكافحة التصحر في الجزائر: تطور استراتيجيات التهيئة..... 14
1.3 من الاستعمار إلى السنوات الأولى للاستقلال (1830-1970)..... 14

2.3 مشروع السد الأخضر (1974–1990): طموح قاري وإكراهات ميدانية..... 14
3.3 إنشاء المحافظة السامية لتطوير السهوب (1983)..... 15
4.3 المخطط الوطني للتنمية الفلاحية (2000-2010) (PNDA): نحو مقاربة مندمجة 16
5.3 دور المعهد الوطني للبحوث الغابية (INRF) 16
خلاصة الفصل الأول..... 17

الفصل الثاني: تقديم منطقة الدراسة (ولاية المنيعة) كمجال ديناميكي

تمهيد..... 19
1. الموقع الجغرافي والإداري الاستراتيجي..... 20
1.1 الموقع الجغرافي والإداري الاستراتيجي 20
2.1 الأهمية الاستراتيجية للموقع 21
2. الخصائص الجيومورفولوجية للمجال..... 22
2.1 الوحدات التضاريسية الكبرى..... 22
2.2 ديناميكية الكثبان الرملية..... 23
3. الخصائص المناخية..... 24
1.3 مناخ صحراوي قاري جاف 24
4. الموارد المائية: الطبقة الألبية كداعم استراتيجي للتثبيت البيولوجي..... 30
5. الخصائص الفيزيائية والمورفولوجية للرمال..... 30
1.5 التحليل الحبيبي..... 30
2.5 تصنيف التربة..... 31
خلاصة الفصل الثاني 32

الفصل الثالث: آليات التثبيت كاستراتيجية تهيئة (المواد والمنهجية)

تمهيد..... 34
1. أهداف الدراسة ومنهجية البحث 35
1.1 التذكير بأهداف الدراسة 35
2.1 المنهجية المعتمدة..... 35
2. آليات التثبيت الميكانيكي: دراسة حالة الطريق الوطني رقم 1..... 37
1.2 تقديم المشروع وأهميته الاستراتيجية..... 37
2.2 التقنيات الميكانيكية المستعملة في المشروع 37
3.2 تقييم فعالية المشروع..... 40
4.2 الصعوبات والتحديات 41

3. آليات التثبيت البيولوجي: دراسة حالة الحزام الأخضر لحماية واحة حاسي القارة 42
1.3 تقديم المشروع وأهدافه 42
2.3 التقنيات البيولوجية والأنواع النباتية المستعملة 42
3.3 نتائج دراسة "تقييم فعالية النباتات المحلية" في المنيعة 43
4.3 تقييم فعالية الحزام الأخضر 46
4. خطوات تنفيذ مشاريع التثبيت على أرض الواقع..... 47
1.4 المرحلة الأولى: التثبيت الميكانيكي الأولي (3–6 أشهر) 47
2.4 المرحلة الثانية: تهدئة حركة الرمال (شهر إلى شهرين)..... 47
3.4 المرحلة الثالثة: الغرس النباتي (شهرين إلى ثلاثة أشهر)..... 47
4.4 المرحلة الرابعة: الري والمتابعة (3–5 سنوات) 48
5.4 المرحلة الخامسة: التثبيت الدائم (بعد 5 سنوات) 48
خلاصة الفصل الثالث 49

الفصل الرابع: النتائج والمناقشة

تمهيد..... 51
1. تحليل تطور مساحات الكثبان الرملية (2000–2024) 52
1.1 توظيف صور الأقمار الصناعية ونظم المعلومات الجغرافية..... 52
2.1 نتائج تحليل تغيرات الغطاء الأرضي 53
3.1 تقدير سرعة تقدم الكثبان (معدل الزحف السنوي) 54
2. التحليل الزماني–المكاني لمؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) بولاية المنيعة (1985، 2005 و2025)..... 56
1.2 هدف الدراسة 56
2.2 البيانات المستخدمة وإعداد الصور..... 56
2.3 منهجية العمل (Workflow méthodologique) 56
4.2 تحليل النتائج 57
5.2 توزيع فئات مؤشر NDVI..... 58
6.2 خرائط وقراءة التغيرات 59
2.7 المناقشة..... 63
3. الأثر البيئي للمشاريع 64
1.3 استرجاع الغطاء النباتي 64
2.3 تقليل الانجراف الريحي واستقرار التربة..... 64
3.3 تحسين التوازن الإيكولوجي 65

4. الأثر الاقتصادي والمجالي 65
1.4 حماية الطريق الوطني رقم 1..... 65
2.4 حماية المستثمرات الفلاحية..... 65
3.4 تقليل خسائر البنية التحتية 66
4.4 أهمية المشاريع في التهيئة العمرانية 66
5. التحسينات الجيوتقنية المقترحة لاستدامة التهيئة..... 66
1.5 مقارنة بين التثبيت التقليدي والتثبيت الجيوتقني الحديث..... 66
2.5 تقييم إمكانية استعمال المثبتات الجيوتقنية في المنيعة 67
6. مناقشة النتائج والتحديات..... 68
1.6 تقييم نجاعة المشاريع المنجزة 68
2.6 نقاط القوة والضعف في الاستراتيجية المعتمدة 68
3.6 إشكالية الصيانة والمتابعة وتأثير الجفاف..... 69
4.6 تحليل مدى نجاح الدمج بين التثبيت الميكانيكي والبيولوجي..... 69
5.6 أهمية إشراك السكان المحليين 69
6.6 دور التهيئة العمرانية في تقليل مخاطر زحف الرمال 70
خلاصة الفصل الرابع..... 70
خاتمة..... 72
قائمة المصادر والمراجع..... 75
الملاحق..... 80

مقدمة

مقدمة

تُعد ظاهرة التصحر (*Désertification*) من أبرز التحديات البيئية التي تواجه البشرية في القرن الحادي والعشرين. تُعرِّف اتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر (UNCCD, 1994) هذه الظاهرة بأنها "تدهور الأراضي في المناطق الجافة وشبه الجافة وشبه الرطبة الجافة الناتج عن عوامل مختلفة تشمل التغيرات المناخية والأنشطة البشرية". وتشير التقديرات العالمية إلى أن ما يقرب من 250 مليون نسمة يتأثرون مباشرة بالتصحر وأن نحو مليار نسمة معرضون لخطر هذه الظاهرة التي تهدد 40% من مساحة اليابسة (FAO, 2020).

ويُعد زحف الرمال (*Sanding / Ensablement*) أحد أبرز تجليات التصحر في الأوساط الجافة حيث تُسهم العوامل المناخية القاسية – وعلى رأسها الجفاف والرياح النشطة – في تحريك الكثبان الرملية وزحفها نحو الأراضي الزراعية والتجمعات السكانية والبنى التحتية محدثةً بذلك أضراراً اقتصادية واجتماعية وبيئية جسيمة (Mainguet & Dumay, 2006).

وفي الحالة الجزائرية تكتسي هذه الظاهرة بعداً استراتيجياً خاصاً إذ يغطي المجال الصحراوي ما يناهز 80% من المساحة الإجمالية للبلاد (أزيد من مليوني كيلومتر مربع) وتتركز فيه ثروات الطاقة والموارد المنجمية كما يشكل مجالاً حيوياً للتوسع العمراني والزراعي في إطار سياسات التوازن الجهوي وإعادة التوزيع السكاني (Bensaâd, 2009). وتشير الدراسات إلى أن 20 مليون هكتار من الأراضي الرعوية في المناطق السهبية والصحراوية معرضة لخطر التصحر مما يُهدد الأمن الغذائي ومعيشة ملايين السكان (DGF, 2004).

ضمن هذا السياق تبرز ولاية المنيعة (El-Goléa سابقاً) التي استحدثت كولاية كاملة الصلاحيات بموجب القانون رقم 19–12 المؤرخ في 11 ديسمبر 2019 والمتعلق بالتنظيم الإقليمي للدولة (الجريدة الرسمية العدد 78 2019). تكتسب هذه المنطقة أهمية جيو–استراتيجية خاصة إذ تمثل حلقة وصل محورية بين شمال البلاد وجنوبها عبر الطريق الوطني رقم 1 (RN1) الذي يُعتبر الشريان الحيوي للتبادل الاقتصادي والتجاري ونقل المسافرين نحو مناطق أدرار وتمنراست وبرج باجي مختار كما تتواجد بها منشآت طاقوية كبرى تابعة لمجمّع سوناطراك (Ded douche & Rahmani, 2021; Aiad, 2019).

غير أن هذه المنطقة شأنها شأن باقي مناطق الشمال الصحراوي الجزائري تتعرض لتهديد متزايد من زحف الكثبان الرملية بفعل موقعها بمحاذاة العرق الغربي الكبير (*Grand Erg Occidental*) شرقاً وهضبة تادمايت شمالاً وانتشار التكوينات الرملية النشطة التي تزحف بفعل الرياح الغربية (السيلي (

(*Chihili/Sirocco*) وما يرافقها من عواصف رملية عنيفة (Chehma, 2006; خليفة وآخرون 2025). وقد تسببت هذه الظاهرة خلال العقود الأخيرة في أضرار متفاوتة طالت الطريق الوطني رقم 1 (خاصة المقاطع الرابطة بين المنيعة وحاسي القارة) والمنشآت الطاقوية والمساحات الزراعية وشبكات الري مما جعلها تشكل خطراً على الأمن الاقتصادي والغذائي ومصدراً للنفقات العمومية الباهظة جراء عمليات إزالة الرمال المتكررة (DTP, 2016).

وفي مواجهة هذا التحدي تم تنفيذ العديد من برامج التهيئة ومشاريع تثبيت الكثبان الرملية بدءاً من المشاريع الكبرى كالسد الأخضر (1974-1990) (*Barrage Vert*) الذي استهدف المناطق الحدودية بين السهوب والصحراء وصولاً إلى البرامج القطاعية الأحدث كمشاريع المعهد الوطني للبحوث الغابية (INRF) بالتعاون مع المحافظة السامية لتطوير السهوب (HCDS) والمشاريع المندمجة مع الساكنة المحلية (Bensouiah, 2004; Nedjraoui & Bédrani, 2008). وقد تعددت المقاربات والتقنيات المعتمدة في هذا الإطار بين ما هو ميكانيكي (كالمصدات الرملية وأسيجة سعف النخيل) وما هو بيولوجي (كتشجير الكثبان بأصناف نباتية محلية مقاومة) وصولاً إلى تقنيات التثبيت الجيوتقني الحديثة (Sebaa وآخرون 2015). غير أن تقييم هذه المشاريع من حيث فعاليتها التقنية وجدواها الاقتصادية واستدامتها المجالية لا يزال موضع نقاش علمي وتقني.

1. إشكالية الدراسة

استناداً إلى ما تقدم تتمحور إشكالية هذه الدراسة حول السؤال الرئيس التالي:

"كيف يمكن الموازنة بين متطلبات التوسع الزراعي والنمو العمراني في ولاية المنيعة في ظل التهديد المستمر لزحف الرمال؟ وما هي الاستراتيجيات المجالية المثلى لتثبيت الكثبان مع ضمان تنمية مستدامة؟"

وتتفرع عن هذه الإشكالية الأسئلة الفرعية التالية:

- ما هي العوامل المجالية (الطبيعية والبشرية) التي تتحكم في ديناميكية زحف الرمال وتهدد استقرار المجالين العمراني والزراعي بمنطقة المنيعة؟
- كيف تطورت استراتيجيات التدخل (من السد الأخضر إلى المشاريع المحلية الدامجة) لمواجهة هذه الظاهرة؟

- ما هي الخصائص الفيزيائية للكثبان والنظام الريحي في المنيعة وكيف تحدد تقنيات التثبيت المناسبة؟
- ما هو الأثر المجالي والاقتصادي لتقنيات التثبيت المزدوجة (الميكانيكية والبيولوجية) على حماية البنى التحتية وإدماج السكان المحليين؟

2. فرضيات الدراسة

تقوم هذه الدراسة على الفرضيات العلمية التالية:

- **الفرضية الأولى:** تساهم العوامل الطبيعية (الرياح النشطة الجفاف فقر الغطاء النباتي الطبيعي) والعوامل البشرية (الرعي الجائر التوسع الزراعي والاستيطان غير الموجه) في تنامي ظاهرة زحف الرمال بولاية المنيعة مما يهدد المساحات الزراعية والطرقات والمنشآت الحيوية.
- **الفرضية الثانية:** يمكن لنمذجة الخصائص الفيزيائية للكثبان الرملية (التحليل الحبيبي الكثافة محتوى الرطوبة) وتحليل النظام الريحي السائد أن يُحددا بدقة تقنيات التثبيت المثلى سواء الميكانيكية أو البيولوجية مما يزيد من فعالية التدخلات.
- **الفرضية الثالثة:** تشكل التقنيات الميكانيكية التقليدية المعتمدة على سعف النخيل (*Jerid*) حلاً فعالاً ومتاحاً محلياً للتدخل الأولي لكنها تبقى غير كافية لوحدها لضمان استدامة التثبيت.
- **الفرضية الرابعة:** يُحوّل إدماج الأصناف النباتية ذات القيمة الاقتصادية (الأشجار المثمرة المقاومة) في عملية التثبيت البيولوجي المشروعَ من مجرد تكلفة عمومية إلى استثمار منتج مما يُحفز السكان المحليين على الانخراط فيه ويضمن استمراريته.

3. أهمية الدراسة وأهدافها

تستمد هذه الدراسة أهميتها من كونها:

- **أهمية عملية تطبيقية:** تهدف إلى تقديم مقترحات علمية قابلة للتنفيذ لواضعي السياسات العمومية (الجماعات المحلية مديرية المصالح الفلاحية محافظة الغابات) لتوجيه أفضل لمشاريع التهيئة ومكافحة التصحر بما يضمن فعالية تقنية وجدوى اقتصادية واستدامة بيئية.
- **أهمية اقتصادية واجتماعية:** تسعى إلى حماية البنى التحتية الأساسية (الطريق الوطني رقم 1 محطات الضخ التجمعات السكانية) والاستثمارات الفلاحية من خطر الانجراف والانسداد الرملي مما يُجنب الخزينة العمومية مصاريف باهظة لإعادة التأهيل.

- **أهمية بيئية:** تسعى إلى اقتراح نموذج للتدخل المبني على أساس النظم الإيكولوجية (*Ecosystem-based Approach*) بما يحافظ على التنوع البيولوجي المحلي ويُجنّب إدخال أنواع غازية تضر بالتوازن الطبيعي.
- **أهمية علمية معرفية:** تُثري الدراسات الجغرافية والتهيئوية حول الأوساط الهامشية بصفة عامة والمناطق الجافة الجزائرية بصفة خاصة عبر مقاربة تدمج بين التحليل المجالي (الجيومورفولوجيا المناخ البيئة) والتحليل التقني–الاقتصادي لتقييم مشاريع التدخل.

الأهداف الرئيسية للدراسة:

1. تحديد ودراسة العوامل المجالية (الطبيعية والبشرية) المسببة لديناميكية زحف الرمال بمنطقة المنيعة.
2. تحليل الخصائص الفيزيائية للكثبان الرملية بالمنطقة وتصنيفها جيوتقنياً.
3. جرد وتقييم تقنيات تثبيت الكثبان الرملية المعتمدة بالمنطقة (الميكانيكية والبيولوجية).
4. قياس الأثر المجالي والاقتصادي لمشاريع التثبيت على حماية البنى التحتية والأنشطة الزراعية.
5. اقتراح نموذج متكامل ومستدام لتثبيت الكثبان الرملية يراعي الأبعاد التقنية والاقتصادية والاجتماعية.

4. منهجية الدراسة وأدواتها

اعتمدنا في هذه الدراسة على منهجية متعددة المقاربات تزاوج بين:

المقاربة التحليلية–المجالية: لدراسة الخصائص الفيزيائية للمجال (جيومورفولوجيا مناخ تربة غطاء نباتي) وقد تمت الاستعانة بالخرائط الطبوغرافية والجيولوجية والمرئيات الفضائية)صور القمر الصناعي لاندسات (Landsat لتتبع تطور ظاهرة زحف الرمال.

المقاربة الإحصائية–الكمية: من خلال التحليل الإحصائي للمعطيات المناخية (سلسلة 1990–2024) المستقاة من محطة الأرصاد الجوية بالمنيعة (ONM) والتحليل الحبيبي لعينات الرمل المجمّعة ميدانياً من الكثبان النشطة.

المقاربة الميدانية: عبر القيام بخرجتين جوالتين ميدانيتين إلى منطقة الدراسة (ما بين شهري فيفري وأفريل 2025) تم خلالهما:

- جرد الغطاء النباتي الطبيعي والمزروع في المواقع المعالجة باستخدام تقنية التربيع (Quadrillage).

جمع عينات من الرمال لتحليلها مخبرياً.

- رصد ومشاهدة تقنيات التثبيت المعتمدة وتقييم حالتها.
- إجراء مقابلات شبه موجهة مع مسؤولي القطاعات المعنية (الغابات الفلاحة الأشغال العمومية) والسكان الفلاحين.

المقاربة الكارتوجرافية: لإنتاج خرائط موضوعاتية (توزيع الكثبان استعمالات الأراضي تطور ظاهرة التصحر) باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

5. حدود الدراسة وصعوباتها

واجهت هذه الدراسة جملة من الصعوبات أبرزها:

- قصر المدة الزمنية المخصصة للعمل الميداني والتي لم تتجاوز شهرين مما حال دون تغطية شاملة لكامل مساحة المنطقة.
- صعوبة الوصول إلى بعض المواقع المعزولة بسبب وعورة المسالك وغياب التأشير.
- نقص أو غياب بعض المعطيات الإحصائية المحدّثة حول تطور مساحات الكثبان الرملية وعدد المستثمرات الفلاحية المتضررة على مستوى بلديات المنطقة.
- محدودية الإمكانيات المخبرية لتحليل العينات الرملية.

7.هيكل الدراسة

تتوزع هذه المذكرة على أربعة فصول تسبقها هذه المقدمة العامة وتليها خاتمة عامة:

الفصل الأول: "الإطار النظري ومفاهيم الدراسة" ويتناول المفاهيم الأساسية المتعلقة بظاهرة التصحر وزحف الرمال وديناميكية النقل الريحي وتاريخ سياسات مكافحة التصحر في الجزائر.

الفصل الثاني: "تقديم منطقة الدراسة (ولاية المنيعة) كمجال ديناميكي" ويشمل دراسة الموقع الجغرافي والخصائص الجيومورفولوجية والمناخية والهيدروجيولوجية والخصائص الفيزيائية للرمال.

الفصل الثالث: "آليات التثبيت كاستراتيجية تهيئة (المواد والمنهجية)" ويشمل عرضاً لأهداف الدراسة ومنهجية البحث وتقنيات التثبيت الميكانيكي والبيولوجي المعتمدة وخطوات تنفيذها على أرض الواقع.

الفصل الرابع: "النتائج والمناقشة (التقييم الاستراتيجي للمشاريع)" ويشمل عرضاً لنتائج البحث الميداني وتحليلها ومناقشتها في ضوء الفرضيات المطروحة.

الفصل الأول:

الإطار النظري ومفاهيم الدراسة

تمهيد

يُشكّل التصحر وزحف الرمال أحد أكبر التحديات البيئية والاقتصادية التي تواجه المجتمعات البشرية في المناطق الجافة وشبه الجافة عبر العالم. وتزداد حدة هذه الظاهرة في ظل التغيرات المناخية الراهنة وما يرافقها من تواتر لموجات الجفاف وارتفاع لدرجات الحرارة. في هذا الفصل نتناول الأسس النظرية والمفاهيمية للدراسة ونعرض لتاريخ سياسات مكافحة التصحر في الجزائر مع التركيز على تطور المقاربات من المشاريع الكبرى إلى البرامج المحلية الدامجة.

1. ظاهرة التصحر وزحف الرمال: مفاهيم وتعريفات

1.1 ظاهرة التصحر وزحف الرمال: مفاهيم وتعريفات

يُعرِّف مؤتمر الأمم المتحدة حول البيئة والتنمية (قمة الأرض ريو دي جانيرو 1992) التصحر بأنه "تدهور الأراضي في المناطق الجافة وشبه الجافة وشبه الرطبة الجافة الناتج عن عوامل مختلفة تشمل التغيرات المناخية والأنشطة البشرية". وقد تبنّت اتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر (UNCCD) هذا التعريف في ملحقها الأول الخاص بإفريقيا (UNCCD, 1994).

ويتمثل التصحر في تراجع أو تدهور الإنتاجية البيولوجية والاقتصادية للأراضي الزراعية والرعوية والغابية نتيجة تفاعل معقد بين عوامل طبيعية (الجفاف التغيرات المناخية هشاشة النظم الإيكولوجية) وأخرى بشرية (الاستغلال المفرط للموارد الطبيعية إزالة الغطاء النباتي الرعي الجائر الممارسات الزراعية غير الملائمة التوسع العمراني العشوائي) (Mainguet, 1991; Chehma, 2006).

وتشير إحصائيات برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP, 2019) إلى أن التصحر يُهدد سبل عيش أزيد من مليار نسمة في أكثر من 100 بلد عبر العالم خاصة في إفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية. وتُقدر الخسائر الاقتصادية الناجمة عن التصحر عالمياً بـــ 42 مليار دولار أمريكي سنوياً (FAO, 2020).

2.1 زحف الرمال: التعريف والآليات

يُعتبر زحف الرمال (Sanding/Ensablement) أحد أبرز تجليات التصحر في الأوساط الصحراوية وهو يشير إلى ظاهرة تحريك الرياح للكثبان الرملية وتقدمها نحو الأراضي الزراعية والمباني والطرقات. تختلف شدة هذه الظاهرة باختلاف سرعة الرياح وكمية الرمال المتاحة وطبيعة الغطاء النباتي والخصائص الفيزيائية للتربة.

وتُميّز الدراسات المتخصصة بين:

الزحف البطيء: تراكم تدريجي للرمال بفعل الرياح الخفيفة والمتوسطة مما يُؤدي إلى طمر تدريجي للمساحات الزراعية والمراعي.

الزحف السريع: تقدم مفاجئ لجبهات كثبان كاملة (غالباً ما تكون من نوع البرخانات) خلال فترات العواصف الرملية القوية مما يُؤدي إلى انسداد الطرقات وتهديد المباني بصورة فجائية (Khatteli & Akrimi, 1997).

الانجراف الريحي: تطاير الجزيئات الدقيقة من التربة (الطين الغرين) ونقلها إلى مسافات بعيدة مما يُفقد الأراضي خصوبتها ويزيد من تدهورها.

3.1 العوامل المسببة لزحف الرمال

أ) العوامل الطبيعية

- **المناخ:** يلعب المناخ الصحراوي الجاف وشديد الجفاف دوراً أساسياً في تنامي ظاهرة زحف الرمال بفعل ندرة التساقطات المطرية (أقل من 100 مم/سنوياً في المتوسط) وارتفاع درجات الحرارة (تصل أحياناً إلى 50 درجة مئوية) وشدة التبخر مما يُؤدي إلى تدهور الغطاء النباتي الطبيعي وهشاشة التربة أمام فعل الرياح (Chehma, 2006; خليفة وآخرون 2025).
- **الرياح:** تُعتبر الرياح العامل الديناميكي الأساسي المحرك للكثبان الرملية. وتزداد فعالية الرياح في نقل الرمال كلما تجاوزت سرعتها "السرعة الحدية" أو "العتبة الحرجة" (*Seuil de mise en mouvement*) والتي تُقدر عادة بـــ 4 إلى 5 أمتار في الثانية على ارتفاع 10 أمتار عن سطح الأرض بالنسبة للرمال متوسطة الحجم (قطر 0.2 – 0.5 مم(Kardous, 2005)).
- **الجيومورفولوجيا:** تُسهم طبيعة السطح (وجود منخفضات وممرات رملية غياب عوائق طبيعية) في تسهيل انسياب الرياح وحركة الكثبان.
- **فقر التربة وضعف تماسكها:** تُسهم طبيعة التربة الرملية المفتتة وفقيرة المادة العضوية والأملاح اللاحمة في سهولة تفكك حبيباتها وتطايرها.

ب) العوامل البشرية

- **الضغط السكاني والتوسع العمراني العشوائي:** يُؤدي التوسع العمراني غير المنظم على حساب الأراضي الهشة إلى إزالة الغطاء النباتي الطبيعي المثبت للتربة مما يزيد من تعرضها للانجراف الريحي (Bensaâd, 2009).
- **الرعي الجائر والاستغلال المفرط للمراعي:** يُشكل الرعي الجائر خاصة رعي الماعز والإبل أحد أهم أسباب تدهور الغطاء النباتي الطبيعي في المناطق الجافة حيث يُؤدي إلى تقلص مساحة النباتات الرعوية المعمرة واندثارها تدريجياً تاركة المجال للرمال لتتحرك بحرية (Nedjraoui & Bédrani, 2008).

- **الممارسات الزراعية غير المستدامة:** مثل الحرث العميق للأراضي الهشة وعدم احترام الدورات الزراعية والإفراط في استغلال المياه الجوفية مما يُؤدي إلى تملّح التربة وتدهور خصوبتها (HCDS, 2005).
- **شبكات الطرق والمنشآت الخطية:** قد تُسهم الطرقات والمنشآت الطولية إذا لم تُصمم بشكل يراعي ديناميكية الرياح في اعتراض مسار الرمال وتراكمها بكميات كبيرة على جانبيها مما يُؤدي إلى انسدادها.

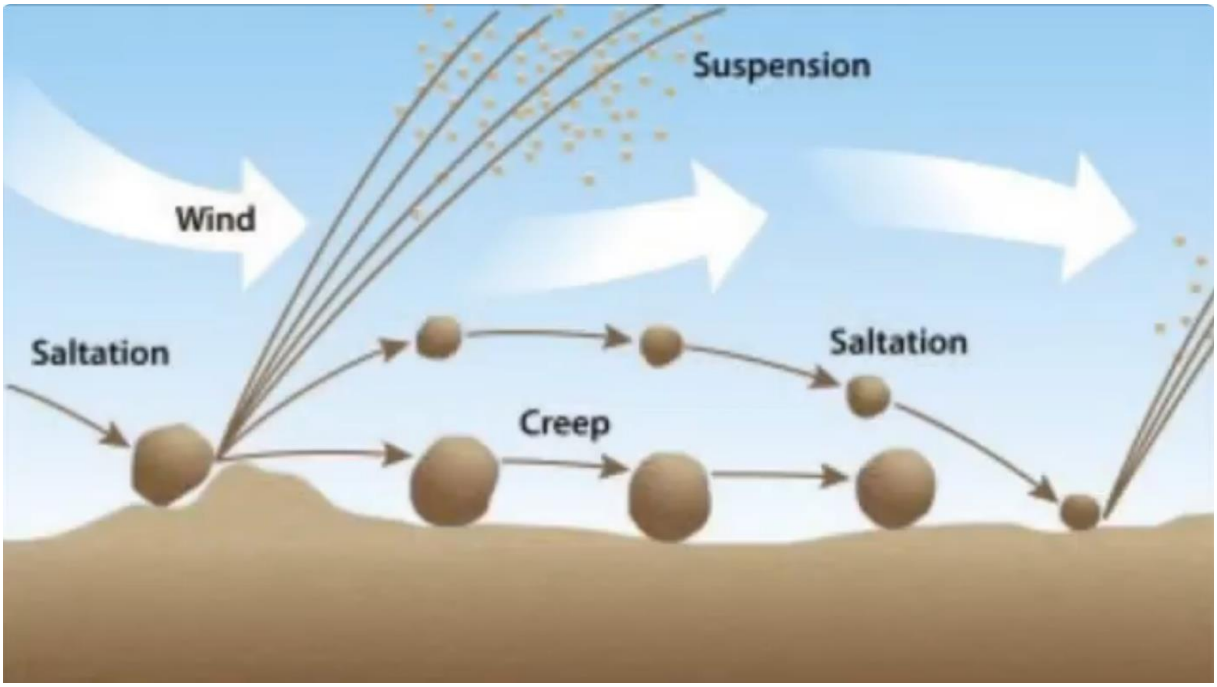
2. ديناميكية النقل الريحي: الأسس الفيزيائية

1.2 آليات حركة الحبيبات الرملية

تتحرك الحبيبات الرملية تحت تأثير الرياح وفق ثلاث آليات رئيسية حددها العالم البريطاني رالف باغنولد (Ralph Bagnold) في دراساته الرائدة حول فيزياء الرمال الصحراوية (Bagnold, 1941):

1. **الزحف أو الدحرجة (*Creeping*):** تخص الحبيبات الأكبر حجماً (قطر > 0.5 مم) وهي ثقيلة جداً بحيث لا تستطيع الرياح رفعها عن سطح الأرض فتكتفي بدحرجتها أو جرّها على سطح الكثيب. تُمثل هذه الآلية حوالي 5 إلى 25% من الكتلة الإجمالية للرمال المنقولة.
2. **القفز أو التنطط (*Saltation*):** تخص الحبيبات المتوسطة الحجم (0.1 – 0.5 مم) وهي الآلية الأكثر أهمية في النقل الريحي. حيث ترتفع الحبيبة بفعل ضغط الرياح إلى ارتفاع يتراوح بين بضع سنتيمترات ومتر واحد ثم تسقط بفعل الجاذبية لترتطم بسطح الكثيب مما يُؤدي إلى تطاير حبيبات جديدة. وتُشكل هذه الآلية حوالي 50 إلى 80% من الكتلة المنقولة.
3. **التعليق (*Suspension*):** تخص الجزيئات الدقيقة جداً (قطر < 0.1 مم) كالغبار والغضار التي تحملها الرياح إلى ارتفاعات كبيرة (قد تصل إلى آلاف الأمتار) ومسافات بعيدة (قد تصل إلى آلاف الكيلومترات) مُشكّلة ما يُعرف بالعواصف الغبارية.

الشكل رقم 1: التمثيل التخطيطي لآليات النقل الريحي (حسب *Bagnold, 1941*)



2.2 معادلة باغنولد: بين العتبة والطاقة

وضع باغنولد (1936 1941) الأسس الرياضية لفيزياء النقل الريحي مقترحاً معادلات تُتيح تقدير كمية الرمال المنقولة بدلالة سرعة الرياح. وتُعتبر معادلته الأساسية من أهم المرجعيات في هذا المجال:

$$q = C \frac{\rho}{g} \sqrt{\frac{d}{D}} u_*^3$$

حيث:

q: معدل النقل الصافي للرمال (كغ/م/ثا).

C: ثابت تجريبي يعتمد على طبيعة الرمال (قيمته بين 1.5 و2.8).

d: قطر الحبيبة المتوسط (بالمم).

D: قطر مرجعي (0.25 مم).

ρ: كثافة الهواء (حوالي 1.22 كغ/م³).

g: تسارع الجاذبية (9.81 م/ثا²).

***u:** سرعة الاحتكاك أو سرعة القص (*Friction Velocity*) وهي معامل يعبر عن شدة الاضطراب الهوائي قرب سطح الأرض (بالمتر/ثا).

وتُبيّن هذه المعادلة أن كمية الرمال المنقولة تتناسب طردياً مع مكعب سرعة الاحتكاك (u^{*3}). ويعني هذا أنه إذا تضاعفت سرعة الرياح ثلاث مرات فإن القدرة على نقل الرمال تتضاعف 27 مرة. وهذا ما يُفسر الكميات الهائلة من الرمال التي يمكن أن تنقلها عاصفة رملية واحدة مقارنة بما تنقله الرياح العادية.

3.2 العتبة الحرجة لتحريك الرمال

لا تتحرك الحبيبات الرملية إلا إذا تجاوزت سرعة الرياح قيمة حدية دنيا تُسمى "سرعة العتبة" أو "السرعة الحدية لبداية الحركة" (*Seuil de mise en mouvement*). وقد حدد باغنولد (1941) العلاقة التالية لتقدير هذه السرعة:

$$u_{*t} = A \times \sqrt{\frac{(\rho_s - \rho) \times g \times d}{\rho}}$$

حيث:

u*t: سرعة الاحتكاك الحدية.

A: ثابت تجريبي (حوالي 0.1).

ρs: كثافة حبيبات الرمل (حوالي 2650 كغ/م³ للكوارتز).

d: قطر الحبيبة.

وبتطبيق هذه المعادلة نجد أن سرعة الاحتكاك الحدية لتحريك حبيبات قطرها 0.25 مم (الحجم الأكثر شيوعاً في الكثبان الجزائرية) تبلغ حوالي 0.20 م/ثا وهو ما يُقابل سرعة رياح تبلغ حوالي 4.5 م/ثا على ارتفاع 10 أمتار عن سطح الأرض. وهذا يُفسر لماذا تعتبر الرياح التي تتجاوز سرعتها 4–5 م/ثا "رياحاً فعالة" أو "رياحاً مُحركة للرمال" (*Vents efficaces*) في أدبيات مكافحة التصحر (Kardous, 2005; Mainguet & Dumay, 2006).

3. تاريخ سياسات مكافحة التصحر في الجزائر: تطور استراتيجيات التهيئة

1.3 من الاستعمار إلى السنوات الأولى للاستقلال (1830–1970)

تعود أولى محاولات تثبيت الكثبان الرملية في الجزائر إلى الفترة الاستعمارية (1830–1962) حيث واجه المستوطنون الأوروبيون في السهول الساحلية (خاصة بمنطقة وادي سوف والزيبان) مشكلة زحف الرمال على المزارع والطرقات. وقد اعتمد الفرنسيون آنذاك تقنيات بدائية تمثلت في نصب حواجز من سعف النخيل (*Afreg*) وتشجير الكثبان بأشجار الكاليتوس (*Eucalyptus camaldulensis*) المستقدم من أستراليا والأكاسيا (*Acacia cyanophylla*) (FAO, 1988; Bensouiah, 2004).

وبعد الاستقلال (1962) ورثت الدولة الجزائرية ترسانة قانونية وتقنية في مجال مكافحة التصحر لكنها لم تكن كافية لمواجهة حجم التحدي. ففي الفترة 1962–1969 تم إطلاق "الورشات الشعبية للتشجير" (*Chantiers Populaires de Reboisement*) التي غرست حوالي 99,000 هكتار من الأشجار الغابية لكن بمردودية ومعدلات نجاح متفاوتة (Nedjraoui & Bédrani, 2008).

2.3 مشروع السد الأخضر (1974–1990): طموح قاري وإكراهات ميدانية

في عام 1974 أطلق الرئيس الراحل هواري بومدين مشروع "السد الأخضر" (*Barrage Vert*) الذي يُعد أكبر مشروع بيئي في تاريخ الجزائر المعاصرة. استهدف هذا المشروع إقامة حزام غابي متواصل من الأشجار على طول 1500 كلم بين الحدود المغربية غرباً والحدود التونسية شرقاً وبعرض يتراوح بين 5 و20 كلم على مساحة إجمالية تقدّر بـــ 3 ملايين هكتار بمحاذاة الشريط الانتقالي بين المناطق السهبية والصحراوية (الواقع بين منحنيات التساقط 200 و300 مم سنوياً(Bensouiah, 2004)).

أهداف السد الأخضر:

1. **بيئية:** كبح زحف الصحراء نحو الشمال تثبيت التربة وتحسين المناخ المحلي.
2. **اقتصادية–اجتماعية:** خلق مناصب شغل في المناطق النائية توفير موارد خشبية ورعوية وتحسين ظروف معيشة السكان.
3. **استراتيجية:** تثبيت السكان في مناطقهم الأصلية والحد من النزوح الريفي نحو المدن الساحلية.

نتائج السد الأخضر وتقييمه:

بعد حوالي 16 سنة من التنفيذ (1974–1990) أظهرت التقييمات الرسمية أن المساحة المنجزة فعلياً لم تتجاوز 350,000 هكتار أي حوالي 11% من الهدف الأصلي (Bensouiah, 2004; Nedjraoui &

(Bédrani, 2008. وقد أرجع المختصون هذا الإخفاق النسبي إلى جملة من الأسباب:

- **تقنية:** الاعتماد شبه الحصري على الصنوبر الحلبي (*Pinus halepensis*) وهو نوع غير متأقلم بشكل كاف مع ظروف الجفاف الشديد في المنطقة مما أدى إلى ارتفاع نسبة موت الشتلات.
- **مناخية:** تزامن تنفيذ المشروع مع فترة جفاف حاد (نهاية السبعينيات وبداية الثمانينيات) أثرت سلباً على نمو الأشجار المزروعة.
- **تنظيمية ومؤسساتية:** غياب التنسيق الكافي بين مختلف القطاعات المتدخلة (الغابات الفلاحة الري الجماعات المحلية) وضعف إشراك السكان المحليين في مختلف مراحل المشروع.
- **بشرية:** الرعي الجائر في المناطق المشجرة وإتلاف المواشي للشتلات قبل نموها.

وعلى الرغم من هذه النتائج المحدودة إلا أن تجربة السد الأخضر شكلت محطة مفصلية في تاريخ سياسات التهيئة ومكافحة التصحر في الجزائر وأفرزت دروساً قيمة استفادت منها البرامج اللاحقة وعلى رأسها ضرورة إدماج الساكنة المحلية واعتماد مقاربة تشاركية.

3.3 إنشاء المحافظة السامية لتطوير السهوب (1983)

إدراكاً لخطورة وضعية المناطق السهبية والصحراوية تم إنشاء المحافظة السامية لتطوير السهوب (*Haut-Commissariat au Développement de la Steppe - HCDS*) بموجب المرسوم رقم 83-458 المؤرخ في 23 جويلية 1983. وقد أوكلت لهذه الهيئة مهمة تنسيق وتنفيذ برامج مكافحة التصحر وتطوير المناطق السهبية والصحراوية عبر:

- تثبيت الكثبان الرملية النشطة.
- إعادة تأهيل المراعي المتدهورة.
- دعم وتنظيم النشاطات الرعوية.
- إشراك السكان المحليين في مشاريع التنمية.

وقد راكمت المحافظة السامية طيلة أكثر من أربعة عقود خبرة وتجربة معتبرتين في مجال مكافحة التصحر حيث طورت تقنيات متعددة لتثبيت الكثبان (ميكانيكية وبيولوجية) وتكوين الفلاحين والرعاة (HCDS, 2005).

4.3 المخطط الوطني للتنمية الفلاحية (2000-2010) (PNDA): نحو مقاربة مندمجة

في مطلع الألفية الثالثة أقرت الدولة الجزائرية "المخطط الوطني للتنمية الفلاحية" (2000-2010) (PNDA) الذي شمل محوراً خاصاً بمكافحة التصحر وحماية الأراضي الزراعية. وقد تميز هذا المخطط بعدة خصائص:

- **اللامركزية:** إشراك الفلاحين والجماعات المحلية في تمويل وإنجاز المشاريع.
- **الإدماج:** دمج مكافحة التصحر مع مشاريع التنمية الفلاحية والريفية (غرس الأشجار المثمرة تحسين نظم الري تنمية تربية المواشي).
- **الاستدامة:** دعم التقنيات التي تضمن استمرارية المشاريع بعد انتهاء التمويل العمومي (Bensouiah, 2004).
- وقد سمح هذا المخطط بتحقيق تقدم ملحوظ في مجال تثبيت الكثبان الرملية عبر عدة ولايات جنوبية خاصة في مناطق الجلفة الأغواط البيض النعامة وورقلة حيث تم تثبيت آلاف الهكتارات من الكثبان النشطة (HCDS, 2010).

5.3 دور المعهد الوطني للبحوث الغابية (INRF)

يضطلع المعهد الوطني للبحوث الغابية (INRF) بمهمة ريادية في مجال تطوير تقنيات مكافحة التصحر وتثبيت الكثبان الرملية في الجزائر. وقد أنشأ المعهد عدة محطات تجريبية موزعة عبر المناطق الجافة من أهمها:

- **محطة المسران (ولاية الجلفة):** المتخصصة في تجارب تثبيت الكثبان الرملية ومكافحة التعرية الريحية. وقد تم في هذه المحطة اختبار عدة تقنيات ميكانيكية وبيولوجية وتكوين عشرات التقنيين والمهندسين (Makhlouf وآخرون 1997).
- **محطة عين الصفراء (ولاية النعامة):** المختصة في إكثار الأصناف النباتية المحلية المقاومة للجفاف وتكييفها مع مختلف أنواع التربة.

وقد أثمرت أبحاث المعهد الوطني للبحوث الغابية عن تطوير عدة تقنيات مبتكرة لتثبيت الكثبان نذكر من أهمها:

1. **تقنية الأعمدة والأسيجة البلاستيكية المربعة:** تعتمد على نصب أعمدة خشبية أو معدنية تُثبت عليها شبكات بلاستيكية خاصة ذات فتحات 4×4 مم تُشكّل مربعات متراصة على سطح الكثيب.

تسمح هذه التقنية بخفض سرعة الرياح قرب السطح إلى ما دون العتبة الحرجة مما يُؤدي إلى ترسيب الرمال وتثبيتها (Tolba, 1994).

2. **تقنية التغطية بالحصى والمواد الخشنة:** تتمثل في نشر طبقة من الحصى أو المواد الخشنة على سطح الكثيب مما يمنع تطاير الحبيبات الرملية.
3. **تقنية المصدات الهوائية (Drâas):** وهي سدود صغيرة من المواد الصلبة تُنصب في مواجهة الرياح السائدة لاعتراض مسار الرمال وترسيبها في مكان محدد (Sebaa وآخرون 2015).

وقد ساهم المعهد في نشر هذه التقنيات عبر تنظيم دورات تكوينية لفائدة مهندسي وتقنيي محافظات الغابات ومصالح الفلاحة في الولايات الجنوبية.

خلاصة الفصل الأول

يستفاد من هذا الفصل أن ظاهرة التصحر وزحف الرمال تُمثل تحدياً بيئياً واقتصادياً معقداً ينتج عن تفاعل عوامل طبيعية (المناخ الجاف الرياح النشطة فقر التربة) وأخرى بشرية (الرعي الجائر التوسع العمراني غير الموجه الممارسات الزراعية غير المستدامة). وقد بينت الدراسات الفيزيائية وفي مقدمتها أعمال رالف باغنولد أهمية فهم ديناميكية النقل الريحي والسرعة الحدية لتحريك الرمال في تصميم تقنيات فعالة لمكافحة الظاهرة.

وعلى الصعيد الوطني عرفت سياسات مكافحة التصحر في الجزائر تطوراً لافتاً بدءاً من المشاريع الكبرى (السد الأخضر) التي ركزت على المقاربة الغابية وصولاً إلى البرامج القطاعية والمحلية (المخطط الوطني للتنمية الفلاحية مشاريع المحافظة السامية لتطوير السهوب والمعهد الوطني للبحوث الغابية) التي تبنت مقاربة أكثر إدماجاً وشمولية تراعي الأبعاد التقنية والاقتصادية والاجتماعية. وتشكل هذه التجارب المتراكمة خلفية أساسية تستند إليها دراستنا لتقييم فعالية مشاريع تثبيت الكثبان الرملية في منطقة المنيعة..

الفصل الثاني:
تقديم منطقة الدراسة (ولاية المنيعة)
كمجال ديناميكي

تمهيد

تُعدّ ولاية المنيعة من المجالات الصحراوية التي تحظى بأهمية كبيرة في الدراسات الجغرافية والتهيئية نظراً لما تتميز به من موقع استراتيجي يربط بين شمال الجزائر وجنوبها إضافة إلى خصوصياتها البيئية المرتبطة بسيادة الأوساط الرملية النشطة وشدة الظروف المناخية الجافة. ومن هذا المنطلق يهدف هذا الفصل إلى دراسة مختلف مكونات المجال المدروس سواء الطبيعية أو البشرية من خلال تحليل الخصائص الجيومورفولوجية والمناخية والفيزيائية للكثبان الرملية باعتبارها عنصراً أساسياً يؤثر في طبيعة التهيئة وأساليب التدخل المعتمدة في المنطقة.

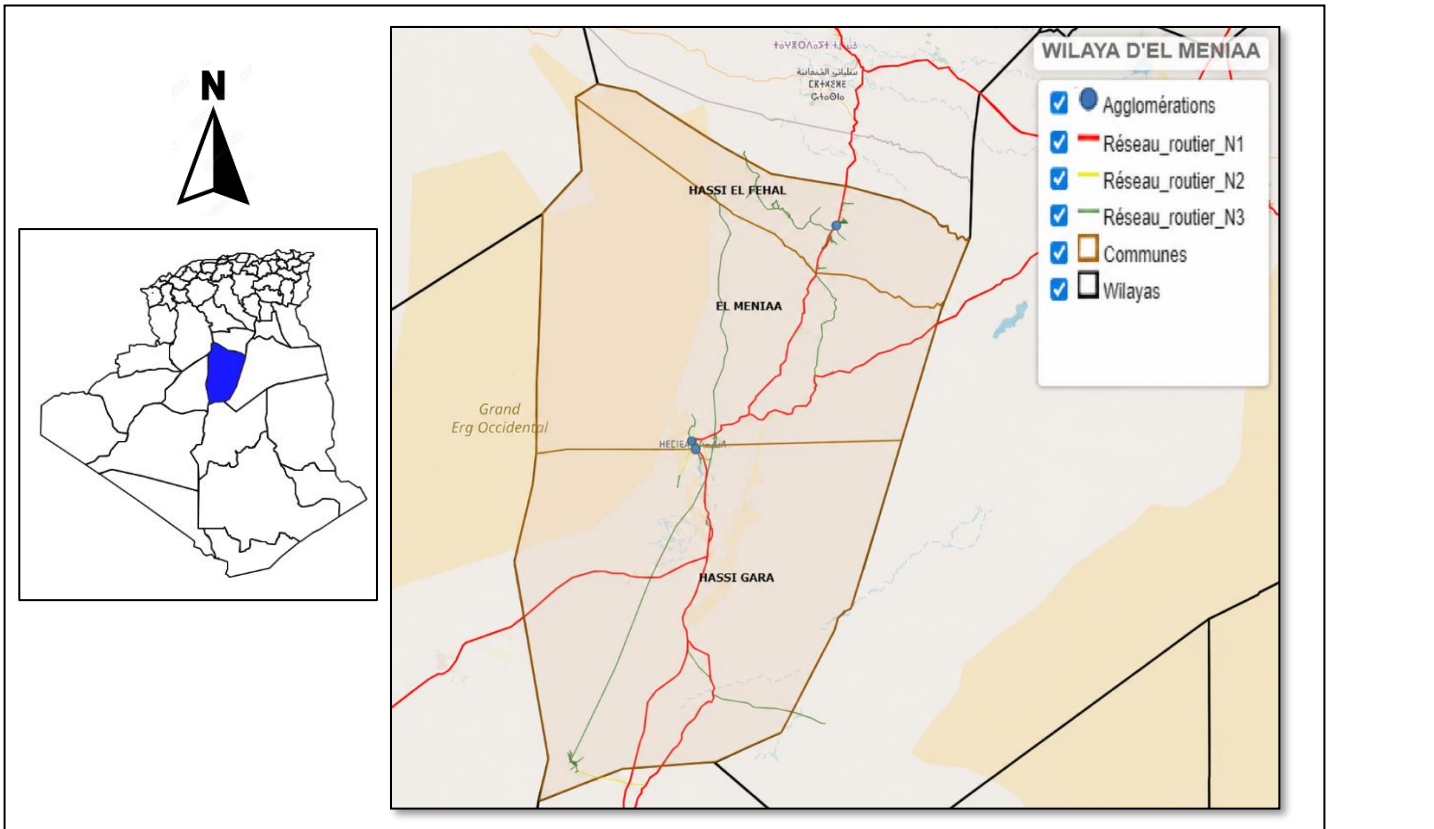
1. الموقع الجغرافي والإداري الاستراتيجي

1.1 الموقع الجغرافي والإداري الاستراتيجي

تقع ولاية المنيعة في الجزء الجنوبي–الأوسط من الجزائر ضمن إقليم الشمال الصحراوي (Sahara Septentrional Algérien). وقد استحدثت كولاية كاملة الصلاحيات بموجب القانون رقم 19–12 المؤرخ في 19 ديسمبر 2019 والمتعلق بالتنظيم الإقليمي للدولة بعد أن كانت دائرة تابعة لولاية غرداية. تتربع ولاية المنيعة على مساحة إجمالية تقدر بـــ 49,000 كيلومتر مربع (بعض المصادر تذكر 88,240 كم²) وتضم بلديتين هما: المنيعة (مقر الولاية) وحاسي القارة (Aiad, 2019; Deddouche & Rahmani, 2021). تتموضع المنطقة فلكياً بين خطي عرض 30° و31° شمالاً وخطي طول 2° و3° شرقاً مما يضعها في قلب المنطقة المدارية الجافة. ويحدها:

- **شمالاً:** هضبة تادمايت (Plateau de Tadmaït) وهي هضبة صخرية كلسية تمتد على مساحة شاسعة.
- **شرقاً:** العرق الغربي الكبير (Grand Erg Occidental) وهو أحد أكبر تجمعات الكثبان الرملية في العالم يمتد على مساحة تقدر بـــ 80,000 كم².
- **غرباً:** مرتفعات تادمايت الغربية وهضبة تيديكلت.
- **جنوباً:** سهول وادي صقر وامتدادات العرق الغربي الكبير نحو مناطق أدرار.

خريطة رقم 1: موقع ولاية المنيعة



2.1 الأهمية الاستراتيجية للموقع

تستمد ولاية المنيعة أهميتها الاستراتيجية من عدة عوامل:

1. **محور طرقات حيوي:** تشكل الولاية نقطة عبور إجبارية على الطريق الوطني رقم 1 (RN1) الذي يربط العاصمة الجزائرية (700 كلم شمالاً) بمناطق الجنوب الكبير (أدرار تمنراست برج باجي مختار) على مسافة تتجاوز 2000 كلم. ويُعتبر هذا الطريق الشريان الحيوي للتبادل التجاري والاقتصادي وشريان الأمن الغذائي والطاقوي للبلاد (نقل المحروقات من حاسي مسعود وحاسي الرمل نحو الجنوب). وتُشير إحصائيات مديرية الأشغال العمومية لولاية المنيعة (DTP, 2024) إلى أن الحمولة المرورية على هذا الطريق تتجاوز 3000 مركبة يومياً في المتوسط نصفها من الشاحنات ذات الحمولة الثقيلة.
2. **قطب طاقوي:** تحتضن الولاية منشآت طاقوية هامة تابعة لمجمّع سوناطراك خاصة محطات الضخ الواقعة على طول أنبوبي نقل الغاز (GR5 وGR6) اللذين يربطان حقول حاسي الرمل بالجنوب بالإضافة إلى محطة توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية (Fenazi et al., 2022).

3. **واحة زراعية منتجة:** تُعتبر المنيعة من الواحات التاريخية العريقة في إنتاج التمور ذات الجودة العالية (خاصة صنف "دقلة نور") حيث تُحصي مديرية المصالح الفلاحية (DSA, 2024) أزيد من 250,000 نخلة مثمرة موزعة على 2,500 مستثمرة فلاحية.
4. **قطب إداري وخدماتي:** بترقيتها إلى ولاية كاملة الصلاحيات أصبحت المنيعة قطبا إدارياً وخدماتياً يستقطب سكان المناطق المجاورة مما يُعزز دورها في التوازن الجهوي.

هذه الأهمية الاستراتيجية تجعل من حماية الولاية من زحف الرمال أولوية وطنية في إطار سياسات التهيئة العمرانية ومكافحة التصحر.

2. الخصائص الجيومورفولوجية للمجال

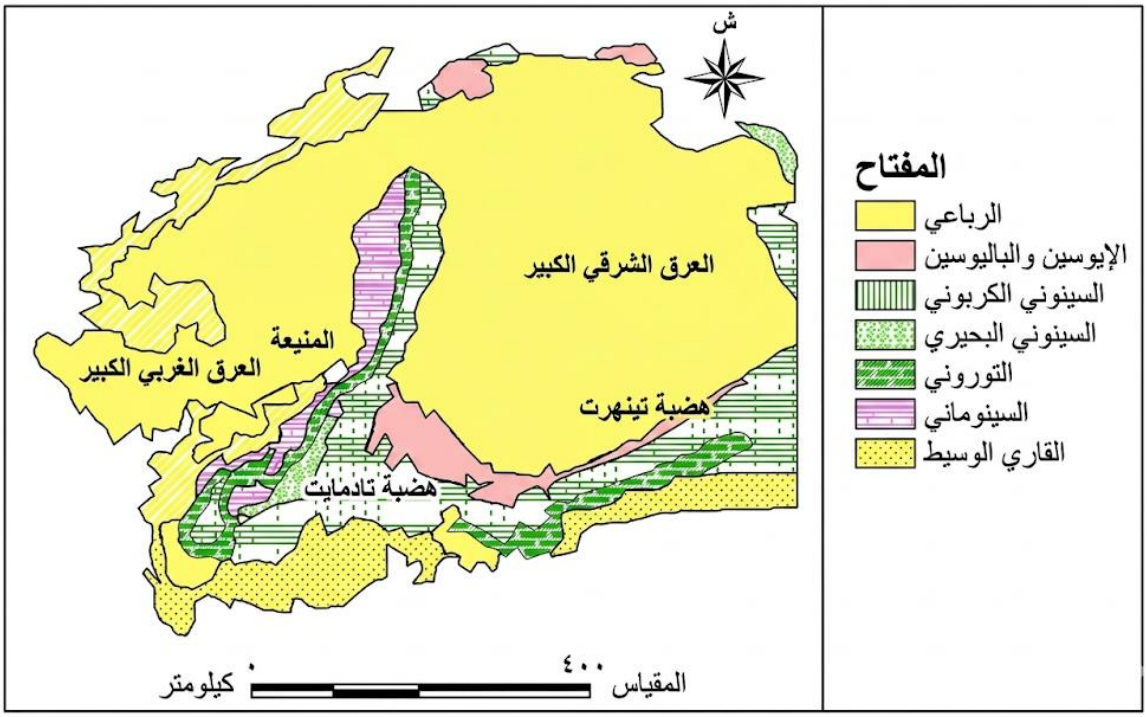
2.1 الوحدات التضاريسية الكبرى

يتميز مجال ولاية المنيعة بتداخل عدة وحدات تضاريسية متباينة تشكل في مجموعها مشهداً جيومورفولوجياً متنوعاً:

1. **الحمادة الصخرية (*Hamada*):** وتُشكل الجزء الشمالي من الولاية وهي عبارة عن هضبة صخرية كلسية مستوية السطح تقريباً تنتمي إلى الزمن الطباشيري السفلي (*Crétacé inférieur*). تتميز بسطحها الصلب والمكشوط بفعل التعرية الريحية وبارتفاعات متواضعة تتراوح بين 400 و500 متر. تلعب الحمادة دوراً مهماً في توجيه الرياح وانسياب الرمال (Chehma, 2006).
2. **السهول الفيضية والمنخفضات:** وتشمل سهول وادي صقر (*Oued Seggueur*) الذي ينحدر من سلسلة الأطلس الصحراوي شمالاً ويُشكل ممراً طبيعياً تخترقه الطريق الوطني رقم 1. وقد ترسبت فيه على مر العصور الجيولوجية طبقة رقيقة من الرواسب الطينية والغرينية الخصبة. كما تنتشر المنخفضات المغلقة (السبخات) التي تتجمع فيها مياه الأمطار النادرة وتتميز بتربتها المالحة ونباتاتها الملحية (Fenazi et al., 2022).
3. **مجاري الأودية الجافة (*Oueds*):** تنتشر بالولاية شبكة من الأودية الجافة التي لا تجري مياهها إلا نادراً خلال الفترات المطيرة الاستثنائية وتشكل مفاصل تضاريسية مهمة في المشهد. ومن أهمها وادي صقر ووادي القارة ووادي العبد.
4. **منطقة الانتقال نحو العرق الغربي الكبير:** وتُشكل الجزء الجنوبي–الشرقي من الولاية حيث تبدأ الكثبان الرملية بالتشكل تدريجياً وتزداد كثافتها وارتفاعاتها كلما اتجهنا نحو الجنوب الشرقي

لتندمج في النهاية مع بحر الرمال العظيم للعرق الغربي الكبير. وتضم هذه المنطقة أنواعاً مختلفة من الكثبان: البرخانات (*Barkhanes*) السيوف (*Sifs*) والغرود (Ballais, 2010) (*Rhourds*).

خريطة رقم 2: خريطة جيولوجية مبسطة لولاية المنيعة



المصدر: OSS, 2003

2.2 ديناميكية الكثبان الرملية

تكتسي الكثبان الرملية في ولاية المنيعة أهمية خاصة في دراستنا باعتبارها الخطر الرئيسي الذي يتهدد المجال العمراني والزراعي. وتتميز هذه الكثبان بالخصائص التالية:

1. **نوع الكثبان:** تسود بالمنطقة الكثبان من نوع "البرخان" (*Barkhane*) وهي كثبان هلالية الشكل يتراوح ارتفاعها بين 3 و10 أمتار وقد تتجمع لتشكل "قطارات برخانية" (*Trains barkhaniques*) تمتد لمئات الأمتار. كما توجد كثبان طولية (*Sifs*) في بعض المواقع.
2. **اتجاه الحركة:** تتحرك الكثبان في اتجاه جنوبي–شرقي في الغالب مدفوعة بالرياح الشمالية–الغربية (الريح الغربي أو السيلي) وهو الاتجاه السائد على مدار السنة تقريباً.
3. **سرعة التقدم:** أظهرت القياسات التي قامت بها محافظة الغابات بالمنيعة (CF El-Goléa, 2023) والمعهد الوطني للبحوث الغابية أن متوسط سرعة تقدم الكثبان النشطة يتراوح بين 5 و15 متراً في السنة لكنها قد تتجاوز 30 متراً في السنة الواحدة خلال سنوات الجفاف الشديد والعواصف

الرملية القوية. وقد رصدت صور الأقمار الصناعية تقدماً لبعض الجبهات الرملية بأكثر من 200 متر بين سنتي 2000 و2020 .

4. **أحجام الرمال المنقولة:** تُقدر المصالح المختصة كمية الرمال المزاحة سنوياً من على الطريق الوطني رقم 1 فقط في مقطع المنيعة–حاسي القارة بما يفوق 50,000 متر مكعب بكلفة مالية تناهز 20 مليون دينار جزائري سنوياً (DTP, 2024).

3. الخصائص المناخية

1.3 مناخ صحراوي قاري جاف

يصنف مناخ ولاية المنيعة ضمن المناخ الصحراوي الجاف (*Hyper-aride*) حسب تصنيف كوبن–جايجر (Köppen-Geiger) ويتميز بالخصائص التالية:

- **أ) الحرارة**

تُظهر المعطيات التي وفرتها محطة الأرصاد الجوية بالمنيعة (ONM El-Goléa) للسنة المرجعية 2025 أن درجات الحرارة مرتفعة جداً خلال فصل الصيف، حيث بلغ متوسط درجة الحرارة العليا لشهر جويلية، وهو الشهر الأكثر حرارة، 42.6 درجة مئوية، في حين بلغ متوسط درجة الحرارة الدنيا لأبرد شهر (جانفي) 3.2 درجة مئوية. كما يُسجل فارق حراري فصلي كبير بين متوسطي شهري جانفي وجويلية يقدر بنحو 25.4 درجة مئوية، مما يعكس بوضوح قارية المناخ والتباينات الحرارية الموسمية الحادة التي تميز الأوساط الصحراوية القارية.

الجدول رقم 1: متوسط درجات الحرارة بالمنيعة لسنة 2025

الشهر	جانفي	فيفري	مارس	أفريل	ماي	جوان	جويلية	أوت	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل السنوي
متوسط درجة الحرارة الدنيا (°م)	3.2	6.3	11.5	15.7	19.8	25.4	29.4	26.6	23.4	17.4	8.9	5.1	16.1
متوسط درجة الحرارة العليا (°م)	18.3	19.9	26.3	30.3	33.9	38.9	42.6	41.5	37.3	31.7	24	17.8	30.2
المتوسط الشهري العام (°م)	10.6	13.1	18.9	23	26.9	32.2	36	34	30.4	24.6	16.4	11.5	23.1

المصدر: أرشيف محطة الرصد الجوي "El Goléa" (رقم 60590) ONM El-Goléa, 2025.

- **ب) التساقطات المطرية**

التساقطات بالولاية نادرة جداً وغير منتظمة سواء من حيث التوزيع الزمني أو المكاني. وقد سجلت محطة الأرصاد الجوية بالمنيعة لسنة 2025 مجموعاً سنوياً للتساقطات لم يتجاوز 7.36 ملم وهو رقم

أقل بكثير من المتوسط السنوي الذي يُقدر بـــ 75 ملم (للفترة 1990–2020). ويُلاحظ أن شهور الصيف (جوان جويلية أوت) تكاد تكون معدومة الأمطار تماماً.

الجدول رقم 2: متوسط كميات التساقط بالمنيعة لسنة 2025

الشهر	جانفي	فيفري	مارس	أفريل	ماي	جوان	جويلية	أوت	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المجموع السنوي
التساقطات (مم)	5.4	1.3	4.9	1.2	2.5	0.6	0	0.5	3.7	3.7	2.4	2.2	≈ 28.4

المصدر: المكتب الوطني للأرصاد الجوية محطة المنيعة (ONM El-Goléa, 2025)

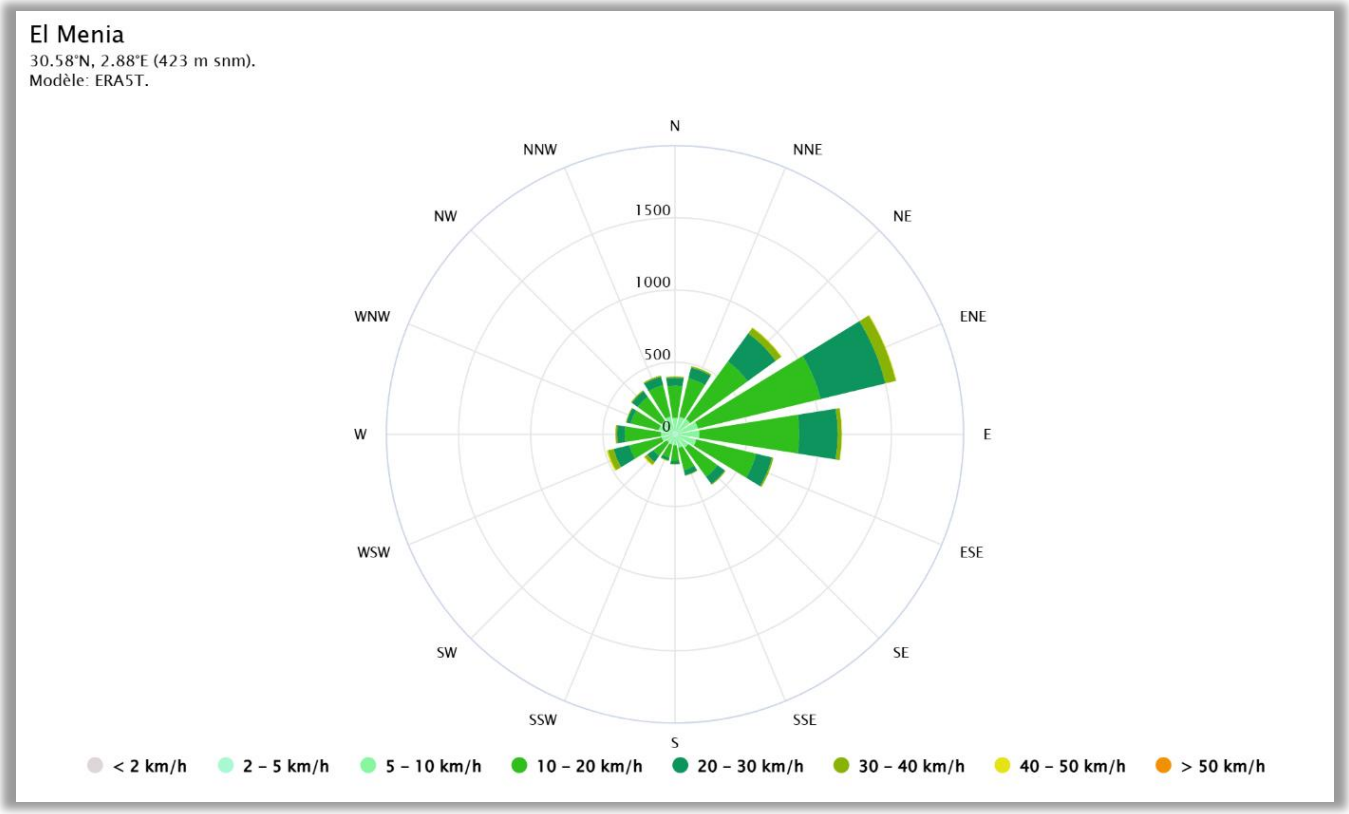
➢ ج) الرياح

تُمثل الرياح العامل المناخي الأكثر تأثيراً في ديناميكية المجال بولاية المنيعة. وتُشير المعطيات الشهرية لمحطة الأرصاد الجوية إلى أن:

الرياح السائدة: تهب الرياح من القطاع الشمالي–الغربي خلال معظم فصول السنة (ما يُعرف محلياً باسم "الريح الغربي" أو "الظهراوي") وهو القطاع الأخطر من حيث نقل الرمال لأنه يأتي محملاً برمال العرق الغربي الكبير نحو الولاية. كما تهب رياح من القطاع الجنوبي–الشرقي خلال الصيف والخريف (السيلي أو الشهيلي) وهي رياح جافة وحارة جداً تُثير العواصف الرملية الكثيفة.

السرعة: يبلغ متوسط سرعة الرياح السنوي حوالي 3.3 م/ثا. وتتجاوز السرعة 4 م/ثا (العتبة الحرجة لتحريك الرمال) بمعدل 120 يوماً في السنة على الأقل. وقد تم تسجيل هبّات تجاوزت سرعتها 20 م/ثا خلال العواصف الرملية العنيفة.

الشكل رقم 2: وردة الرياح لمحطة الأرصاد الجوية بالمنيعة



المصدر: Meteoblue, 2026

الجدول رقم 3: متوسط سرعة الرياح الشهرية (م/ثا) بمحطة المنيعة لسنة 2024

الشهر	جانفي	فيفري	مارس	أفريل	ماي	جوان	جويلية	أوت	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
سرعة الرياح (م/ثا)	1.9	2.9	3.6	4.8	4.9	4.2	3.8	3.3	3.8	2.9	2.6	3.5

المصدر: المكتب الوطني للأرصاد الجوية محطة المنيعة (ONM El-Goléa, 2024)

➢ د) التصنيف المناخي

لتحديد الخصائص المناخية لولاية المنيعة سنعتمد على المعايير الرئيسية وهي درجة الحرارة وهطول الأمطار من خلال تمثيلهم في مخطط جوسن (Gaussien) الحراري لتحديد فترة جفاف منطقة الدراسة ومخطط مناخي لإمبرجر (Emberger) لتحديد موقع المنيعة فيما يتعلق بالطوابق مناخية حيوية.

- مخطط غوسين (gaussien) الحراري

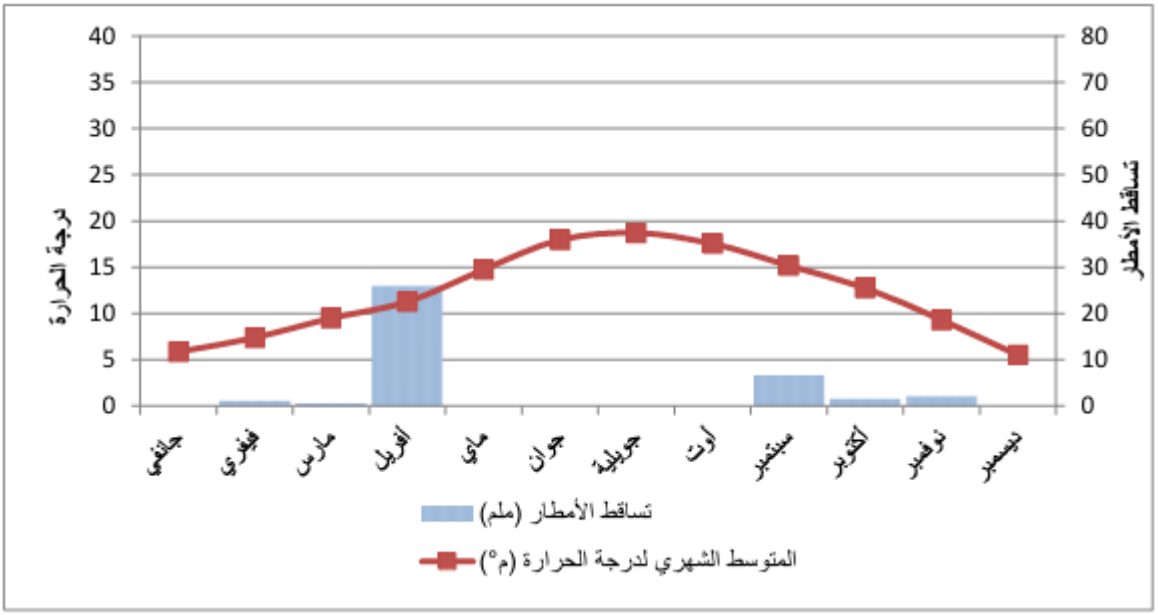
يكون الشهر جافا بيولوجيا عندما يكون معدل هطول الأمطار الشهري (P) المعبر عنه بالمليمترات أقل من ضعف متوسط درجة الحرارة.: (BAGNOULS, 1953)

$$T = (M + m)/2 \ (°C)$$

M: درجة حرارة في الشهر(°C)

m: درجة حرارة في الشهر (°C).

الشكل رقم 3: رسم بياني مطري حراري (*Bagnouls* و*Gaussen*) لولاية المنيعة 2024



يتم تمثيل المعطيات المناخية من خلال الشكل الذي تُوضح فيه أشهر السنة على المحور الأفقي ودرجات الحرارة على المحور العمودي الأيسر والتساقطات على المحور العمودي الأيمن باعتماد المقياس $P = 2T$ لضبط العلاقة بين الحرارة والأمطار، حيث تُشير الفترة الجافة في الرسم التخطيطي إلى الفترات التي يتجاوز فيها المنحنى الحراري منحنى التساقطات مما يعكس نقصاً في الرطوبة، ويُعد مخطط إمبرجر (Emberger) أداة فعالة لتحليل هذا التباين إذ يمكننا من تصنيف مناخ ولاية المنيعة وتحديد ما إذا كان مناخاً ذات طابع صحراوي.

- مخطط إمبرجر (Emberger) لتساقطات الأمطار:

يسمح بالتمييز بين الفروق الدقيقة المختلفة لمناخ البحر الأبيض المتوسط ووصفه المستوى الحيوي لولاية المنيعة (DAGOZR,1982 et MEDDOUR, 2013)، ويسمح لنا مخطط المناخ المطري الحراري كذلك بمعرفة المرحلة المناخية وهو مؤشر جيد ومفيد يُمكننا من إعطاء معنى بيئي للمناخات والظروف المتوقعة

(درجة الحرارة هطول الأمطار والرياح) وهي كالتالي: على المحور الأفقي تمثل معدلات الحرارة (متوسط السنوي أو المعدلات القصوى والدنيا) وعلى المحور العمودي تمثل عادةً بواسطة مخطط هطول الأمطار إيمبرجر(Q3) (Emberger).

حيث استخدمنا صيغة (STEWART,1969) المعتمدة للجزائر:

$$Q_3 = 3.42 \times \frac{P}{M - m}$$
$$Q_3 = 3.43 \times 28.4/[42.6 - 3.2]$$
$$Q_3 = 2.47$$

Q_3: هو مخطط المطر الحراري لإمبرجر (Emberger).

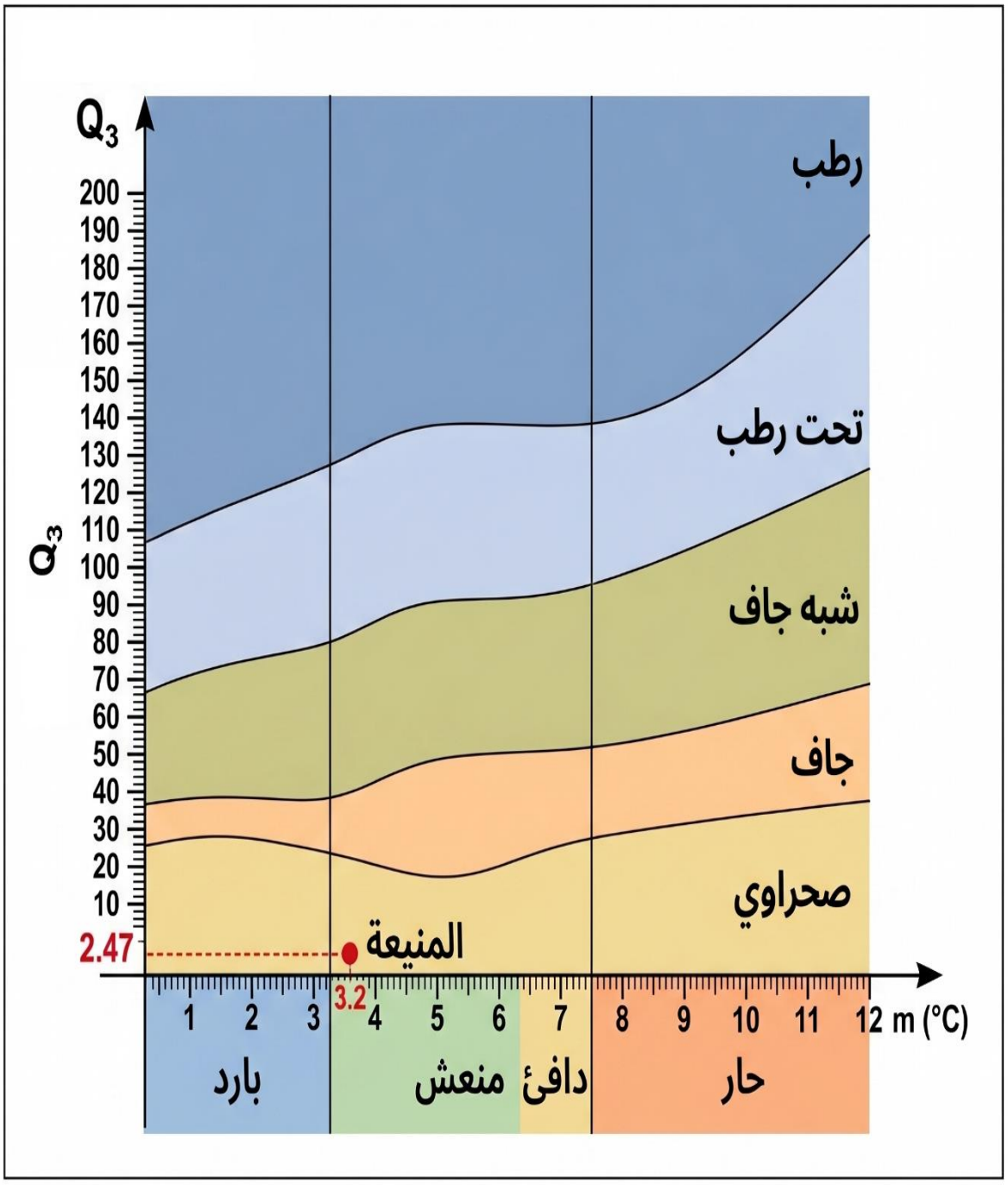
P: هو مجموع هطول الأمطار السنوي معبرا عنه بالملم (mm).

M: هو متوسط درجات الحرارة العظمى للشهر الأكثر حرارة ب(°C).

m: هو متوسط درجة الحرارة الدنيا لأبرد شهر ب(°C).

تم حساب معامل إمبرجر (Q_3) لولاية المنيعة وفق الصيغة المعتمدة مناخياً (Stewart, 1969) بالاعتماد على المعطيات المناخية المسجلة خلال سنة 2025، وقد بلغت قيمة المعامل 2.47. وبتوقيع هذه القيمة على مخطط إمبرجر لتحديد الأقاليم المناخية الحيوية، يتبين أن ولاية المنيعة تندرج ضمن النطاق **الصحراوي ذي الشتاء المعتدل** وهو تصنيف يؤكد قساوة الظروف المناخية السائدة وجفاف الولاية.

الشكل رقم 4: رسم بياني مناخ *Emberger* لولاية المنيعة 2024



4. الموارد المائية: الطبقة الألبية كداعم استراتيجي للتثبيت البيولوجي

رغم قسوة المناخ تزخر ولاية المنيعة بموارد مائية جوفية معتبرة يُعتبر وجودها واستغلالها ضرورة حتمية لنجاح أي مشروع للتثبيت البيولوجي. وتتمثل هذه الموارد أساساً في:

الطبقة الألبية (***Nappe Albienne***) أو "**الطبقة القارية البي–قارية**" (Continental Intercalaire): وهي أحد أكبر خزانات المياه الجوفية في العالم تمتد على مساحة تفوق 600,000 كيلومتر مربع عبر الجزائر وتونس وليبيا. توجد هذه الطبقة على أعماق تتراوح بين 1400 و1800 متر بالمنطقة وتحتوي على مياه أحفورية قديمة (تكونت خلال الفترات المطيرة في العصر الرباعي) ذات درجة حرارة مرتفعة (تصل إلى 50 درجة مئوية عند خروجها من البئر) ونوعية كيميائية مقبولة للري (نسبة ملوحة تتراوح بين 1.5 و2 غرام/لتر) (Fenazi et al., 2022).

وقد سمح استغلال هذه الطبقة عبر حفر آبار عميقة ببعث الحياة في هذه المنطقة الصحراوية القاسية حيث تُسقى منها واحات النخيل ومشاريع التشجير ومحاصيل الزراعات المحمية وتُعتبر هذه المياه الركيزة الأساسية التي يُعوّل عليها لري مشاريع التثبيت البيولوجي للكثبان الرملية في المنطقة.

5. الخصائص الفيزيائية والمورفولوجية للرمال

1.5 التحليل الحبيبي

أفضى التحليل الحبيبي لعينات الرمل التي تم جمعها من الكثبان النشطة بولاية المنيعة (في أفريل 2025) والذي تم إجراؤه بمخبر مركز البحث العلمي والتقني للمناطق الجافة (CRSTRA) بمحطة نفزلة/تقرت إلى النتائج التالية:

الجدول رقم 4: نتائج التحليل الحبيبي لعينات الرمل من الكثبان النشطة بولاية المنيعة

المعيار	العينة 1 (بلبشير)	العينة 2 (سبخة المالح)	العينة 3 (حاسي القارة)
القطر المتوسط (Mz)	0.32 مم	0.27 مم	0.35 مم
معامل الانحراف (Ski)	0.12	0.18	0.09
معامل التصنيف (So)	1.31	1.28	1.35
نسبة الكوارتز (%)	96.5	95.8	97.1
نسبة الكربونات (%)	2.8	3.5	2.1
محتوى الرطوبة (%)	0.3	0.5	0.2
الكثافة الظاهرية (غ/سم³)	1.58	1.54	1.61

المصدر: التحليل المخبري (CRSTRA, 2025)

يُستنتج من هذه النتائج أن رمال ولاية المنيعة تنتمي إلى فئة الرمال الناعمة إلى المتوسطة (*Sables fins*

(*Bien classés à moyens*) وهي جيدة التصنيف (*Bien classés*) وهو ما يُعبر عن أصلها الريحي (النقل والترسيب بفعل الرياح). كما تُظهر هيمنة واضحة لمعدن الكوارتز (*Quartz*) على حساب المعادن الأخرى مما يمنح الرمال صلابة ومقاومة للتفتت.

2.5 تصنيف التربة

بناءً على نظام التصنيف الموحد للتربة (USCS - Unified Soil Classification System) تُصنف رمال الكثبان في ولاية المنيعة ضمن الفئة **(SP)** أي "رمال رديئة التدرج" (Sables mal gradués). ويعني هذا عملياً أن:

- الرمال تتكون أساساً من حبيبات ذات حجم واحد تقريباً (افتقار إلى التدرج الحبيبي) مما يزيد من مساميتها ونفاذيتها للماء.
- تماسكها ضعيف إلى منعدم في الحالة الجافة مما يُسهل تفككها وتطايرها بفعل الرياح.
- قدرتها على الاحتفاظ بالماء والمغذيات محدودة جداً مما يُشكل تحدياً أمام نمو النباتات.

هذه الخصائص الجيوتقنية تُملي من منظور التهيئة ضرورة اعتماد تقنيات تثبيت ميكانيكي أولاً لخفض سرعة الرياح قرب السطح يليها تثبيت بيولوجي عبر زراعة أنواع نباتية شديدة المقاومة للجفاف وفقيرة المتطلبات الغذائية مع نظام ري اقتصادي (بالتقطير) لضمان بقائها خلال السنوات الأولى الحرجة.

خلاصة الفصل الثاني

تُظهر نتائج تحليل المكونات المجالية أن ولاية المنيعة تجسد نموذجاً لبيئة صحراوية تتسم بالديناميكية والهشاشة المزدوجة. إذ تتقاطع فيها الظروف الطبيعية المتطرفة —من مناخ جاف ونشاط ريحي مكثف وتربة رملية مفككة— مع الضغط المتزايد للأنشطة البشرية المرتبطة بالتوسع العمراني والاستصلاح الزراعي. وقد أفرز هذا التفاعل حقائق ميدانية تفرض ضرورة التدخل التهيئوي وفق مقاربة عاجلة ومستدامة.

وقد أثبتت الدراسة التفصيلية أن النظام الريحي والمتمثل أساساً في الرياح الشمالية الغربية التي تتجاوز سرعتها العتبة الديناميكية الحرجة يُعد المحرك الأبرز لظاهرة زحف الرمال وحركة الكثبان. ومما يفاقم من حدة هذه الظاهرة هو الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للرمال المحلية (وفق التصنيف الموحد SP) التي تتصف بانعدام التماسك والقابلية الشديدة للتطاير والانجراف وهو ما يفرض حتمية تبني تقنيات تثبيت مندمجة وفعالة.

وعلى النقيض من هذه التحديات يتيح المخزون المائي الجوفي (الطبقة الألبية) فرصة استراتيجية تُشجع على تبني خطط التثبيت البيولوجي كحل مستدام وطويل الأمد. غير أن نجاح هذه المقاربة التهيئوية يظل مرهوناً بالاستغلال العقلاني والمدروس لهذه المقدرات المائية بما يضمن استعادة التوازن الإيكولوجي وحماية المجال الهش للولاية.

الفصل الثالث:
آليات التثبيت كاستراتيجية تهيئة (المواد والمنهجية)

تمهيد

بعد أن استعرضنا في الفصلين السابقين الأسس النظرية لظاهرة التصحر وزحف الرمال وخصائص المجال الطبيعي والبشـــري لولاية المنيعة ننتقل في هذا الفصـــل إلى الجانب التطبيقي التحليلي حيث ندرس آليات تثبيت الكثبان الرملية المعتمدة في المنطقة ليس من منظور نظري فحســـب بل من خلال تحليل مشاريع حقيقية منجزة وتقييم فعاليتها استناداً إلى دراسات أكاديمية محلية.

ويشكل مشروعا "حماية الطريق الوطني رقم 1 (مقطع المنيعة – غرداية)" و"الحزام الأخضر لحماية واحة حاسي القارة" محورَي هذا الفصل باعتبارهما نموذجين تطبيقيين يعكسان استراتيجية الدولة في الجمع بين التثبيت الميكانيكي والبيولوجي.

1. أهداف الدراسة ومنهجية البحث

1.1 التذكير بأهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة كما سبق بيانه إلى تقييم فعالية استراتيجيات تثبيت الكثبان الرملية في ولاية المنيعة من منظور جغرافي وتهيئي وذلك من خلال:

1. تحليل ديناميكية الكثبان الرملية والعوامل المتحكمة فيها.
2. دراسة وتقييم تقنيات التثبيت الميكانيكي والبيولوجي المطبقة.
3. قياس الأثر المجالي والاقتصادي والبيئي لمشاريع التثبيت.
4. اقتراح توصيات لتحسين فعالية واستدامة هذه المشاريع.

2.1 المنهجية المعتمدة

اعتمدنا في هذا الفصل على مقاربة منهجية متعددة الأبعاد تزاوج بين:

أ) المنهج الجغرافي التحليلي:

وهو المنهج الأساسي الذي استندنا إليه في دراسة المجال الطبيعي (الجيومورفولوجيا المناخ التربة) والبشري (التوزيع السكاني استعمالات الأراضي الأنشطة الاقتصادية) وفي تحليل التفاعلات المتبادلة بينهما. وقد مكّننا هذا المنهج من تحديد المناطق الأكثر هشاشة وعرضة لزحف الرمال وتفسير تموضع مشاريع التثبيت.

ب) المنهج الوصفي التقييمي:

استخدمناه لوصف التقنيات المعتمدة في المشاريع المدروسة وصفاً دقيقاً (الأبعاد المواد المستعملة طرق التركيب) ثم لتقييم فعاليتها استناداً إلى مؤشرات كمية (مثل معدل تراجع الكثبان نسبة بقاء الشتلات) ومؤشرات كيفية (مثل آراء الفاعلين المحليين).

ج) توظيف نظم المعلومات الجغرافية (SIG) والاستشعار عن بعد:

شكّل توظيف برنامج (QSIG) لتحليل ومعالجة صور القمر الصناعي (Landsat 7 ETM+ و Landsat 8 OLI) للفترة 2000–2024 أداةً جوهرية في بحثنا. وقد مكّننا هذا من:

- رسم خرائط دقيقة لتوزيع الكثبان الرملية وتطور مساحاتها عبر الزمن.

- تحديد اتجاهات وسرعة زحف الرمال نحو المناطق العمرانية والزراعية.
- تقييم الأثر المجالي لمشـــاريع التثبيت من خلال مقارنة وضـــعية المواقع المعالجة قبل وبعد التدخل.

د) الدراسة الميدانية:

شملت الدراسة الميدانية كما سبق تفصيله جرداً للنباتات وأخذ عينات من الرمال ومشاهدات ميدانية لتقنيات التثبيت ومقابلات مع الفاعلين المحليين.

هـــ) الاعتماد على الدراسات الأكاديمية المحلية:

وظّفنا في تحليلنا نتائج دراستين أكاديميتين أساسيتين تناولتا ولاية المنيعة وهما:

1. دراســـة "**الديناميكية الهوائية للرمال وتأثيرها على البنية التحتية في منطقة المنيعة**" (2023) التي قدمت تحليلاً كمياً لحركة الكثبان الرملية وعلاقتها بالمنشـآت الطرقية والطاقوية واعتمدت على نماذج رياضية (معادلة باغنولد) لتقدير حجم الرمال المنقولة.
2. دراســـة "**تقييم فعالية النبلتات المحلية في التثبيت البيولوجي للكثبان الرمليةـبالصـــحراء الشـمالية – حالة المنيعة**" (2022) التي اختبرت ميدانياً أداء عدة أصـناف نباتية محلية (خاصـة الأرطا (*Calligonum comosum*) وقارنتها بالأصناف الدخيلة من حيث نسبة البقاء سرعة النمو والقدرة على تثبيت الرمال.

2. آليات التثبيت الميكانيكي: دراسة حالة الطريق الوطني رقم 1

1.2 تقديم المشروع وأهميته الاستراتيجية

يُعتبر "مشروع حماية الطريق الوطني رقم 1 (RN1) في مقطعه الرابط بين المنيعة وغرداية" من أبرز مشاريع التثبيت الميكانيكي المنجزة في المنطقة وهو مشروع استراتيجي تشرف عليه مديرية الأشغال العمومية (DTP) بالتنسيق مع محافظة الغابات. وقد انطلق المشروع في سنة 2018 ولا يزال مستمراً على مراحل ويحظى هذا المشروع بأهمية قصوى للأسباب التالية:

1. **الطريق الوطني رقم 1 كمحور استراتيجي وطني:** يُشكل هذا الطريق الشريان الحيوي الوحيد الذي يربط شمال البلاد بجنوبها الكبير (أدرار تمنراست برج باجي مختار) ويمر عبر المنيعة التي تُعتبر نقطة عبور إجبارية. ويُؤدي أي انسداد رملي لهذا الطريق ولو جزئي إلى شلل تام في حركة النقل البري للمسافرين والبضائع والمحروقات نحو كامل الجنوب الغربي مما يُكبد الاقتصاد الوطني خسائر فادحة.
2. **التعرض الشديد للزحف الرملي:** يُعاني مقطع المنيعة–غرداية وبالخصوص المسافة الممتدة بين بلديتي المنيعة وحاسي للقارة (حوالي 60 كلم) من زحف كثبان برخانية نشطة تنطلق من العرق الغربي الكبير وتتقدم باتجاه الجنوب–الشرق مما كان يتسبب في انسداد الطريق عدة مرات في السنة خاصة خلال فصلي الربيع والخريف.
3. **التكلفة الباهظة للإزالة:** كانت مصالح الأشغال العمومية تُسخر فرقاً وآليات ثقيلة بشكل شبه دائم لإزالة الرمال المتراكمة على الطريق. وتُشير إحصائيات (DTP, 2017) إلى أن الكلفة السنوية لعمليات الإزالة كانت تتجاوز 25 مليون دينار جزائري دون احتساب الخسائر غير المباشرة (حوادث المرور تأخر النقل استهلاك الوقود الإضافي).

2.2 التقنيات الميكانيكية المستعملة في المشروع

اعتمد المشروع على ثلاث تقنيات ميكانيكية متكاملة طُبقت بشكل متسلسل على طول امتداد الطريق المعرض للخطر:

أ) حواجز سعف النخيل المتقاطعة (التشبيك):

في المرحلة الأولى (2018–2019) تم نصب شبكة واسعة من حواجز سعف النخيل الجاف (الجريد) (*Jerid*) على مسافة تتراوح بين 100 و200 متر من جانبي الطريق وفي مواجهة الرياح السائدة

(الشمالية–الغربية). وتمثلت التقنية في:

- غرس صفوف متوازية من سعف النخيل بارتفاع 1 متر فوق سطح الرمل وعلى عمق 40 سم.
- المسافة بين الصفوف المتوازية: 4 أمتار.
- تم ربط الصفوف بصفوف عمودية عليها مما شكّل مربعات (4×4 متر).
- تجديد السعف المتآكل كل سنتين إلى ثلاث سنوات.

وقد أثبتت هذه التقنية رغم بدائيتها فعالية كبيرة في إيقاف زحف الكثبان الصغيرة والمتوسطة حيث تُشتت طاقة الرياح وتُجبر الرمال على التراكم بين المربعات بدلاً من الانسياب نحو الطريق. ويُقدر مسؤولو الغابات أن هذه الحواجز قد خفّضت كمية الرمال المترسبة على الطريق بنسبة 60% على الأقل (CF El-Goléa, 2020).

المصدر: من إعداد الطالبة

الصورة رقم 1: التثبيت الميكانيكي باستعمال حواجز سعف النخيل

ب) التربيع الميكانيكي للكثبان الكبيرة:

بالنسبة للكثبان الكبيرة (ارتفاع أكثر من 5 أمتار) والتي كانت تهدد الطريق مباشرة تم اعتماد تقنية "التربيع الميكانيكي" (*Quadrillage mécanique*) والمطورة من طرف المعهد الوطني للبحوث الغابية (INRF). وتتمثل في:

- نصب أعمدة خشبية (ارتفاع 1.2 متر) على كامل مساحة الكثيب مشكلة شبكة مربعات (5×5 أمتار).
- تُثبت على الأعمدة شبكة بلاستيكية مقاومة للأشعة فوق البنفسجية ذات فتحات (4×4 مم).
- هذه الشبكة تُغطي الكثيب بالكامل وتُقسمه إلى خلايا صغيرة مما يمنع تطاير الرمال حتى في حالة هبوب رياح قوية.

وقد تم تطبيق هذه التقنية على مساحة إجمالية قدرت بـــ 50 هكتاراً على جانبي الطريق.

ج) الحواجز الموجهة للرياح:

في بعض المقاطع الحرجة تم بناء حواجز صلبة من المواد المحلية (الحجارة التربة المدكوكة) على شكل مثلثات أو شبه منحرفات (ارتفاع 2.5–3 أمتار طول 12–15 متراً) نُصبت بشكل مائل بزاوية 120°–135° بالنسبة لاتجاه الرياح السائدة. تهدف هذه الحواجز وفقاً لمبدأ "تأثير فنتوري" ((Effet Venturi) إلى توجيه الرياح المحملة بالرمال نحو ممرات جانبية تزداد فيها سرعة الرياح مما يُمكنها من حمل الرمال ونقلها بعيداً عن الطريق بدلاً من ترسيبها عليه (Sebaa وآخرون 2015).

الجدول رقم 5: مقارنة بين التقنيات الميكانيكية التقليدية والحديثة في المنيعة

المعيار	التقنيات التقليدية (حواجز سعف النخيل)	التقنيات الحديثة الأسيجة البلاستيكية (INRF)
التكلفة الأولية (دج/هك)	150,000 – 200,000	350,000 – 400,000
العمر الافتراضي	3-5 سنوات	5-7 سنوات
الفعالية ضد الرياح القوية	متوسطة	عالية
الحاجة إلى صيانة	عالية (تجديد مستمر)	متوسطة
الأثر البيئي	منعدم (مواد طبيعية)	تلوث محتمل بالبلاستيك
ملاءمة الظروف المحلية	عالية (مادة متاحة ومألوفة)	متوسطة (تحتاج إلى تقنيين)
إمكانية التنفيذ المحلي	سهلة	متوسطة
فعالية توجيه الرياح	محدودة	جيدة

المصدر: الدراسة الميدانية.

يُستنتج من هذا الجدول أن التقنيتين متكاملتان حيث تظل حواجز السعف الخيار الأكثر اقتصادية وملاءمة للمواقع الأقل عرضة للرياح القوية فيما تبقى الأسيجة البلاستيكية الحل الأمثل للمواقع الحرجة شديدة التعرض.

3.2 تقييم فعالية المشروع

أ) تقليل تراكم الرمال على الطريق:

أظهرت القياسات الميدانية التي قامت بها مديرية الأشغال العمومية (DTP, 2022) أن كمية الرمال المزاحة سنوياً من على الطريق قد انخفضت من حوالي 50,000 متر مكعب (قبل المشروع) إلى أقل من 10,000 متر مكعب (بعد المشروع) أي بنسبة انخفاض تقدر بـــ 80%. وهذا يُعتبر نجاحاً تقنياً كبيراً.

ب) خفض تكاليف الصيانة والإزالة:

انخفضت كلفة الإزالة الدورية للرمال من 25 مليون دج/سنوياً (قبل 2018) إلى حوالي 8 ملايين دج/سنوياً (بعد 2020) مما يعني توفيراً مالياً سنوياً يُقدر بـــ 17 مليون دج وهو ما يُعادل تقريباً كلفة إنشاء المشروع نفسه خلال 4–5 سنوات.

ج) حماية الطريق من الانسداد الكلي:

لم يسجل الطريق منذ تركيب الحواجز الميكانيكية أي انسداد كلي في حين كان يسجل 3 إلى 5 انسدادات كلية في السنة قبل المشروع.

4.2 الصعوبات والتحديات

على الرغم من هذه النتائج الإيجابية إلا أن المشروع يواجه تحديات موضوعية أهمها:

أ) تآكل الحواجز:

تتعرض حواجز سعف النخيل للتآكل السريع نسبياً بفعل العوامل الجوية (الشمس الرياح الرطوبة) مما يستوجب تجديدها كل 3–5 سنوات. وهذا يُشكل عبئاً مالياً وتنظيمياً متكرراً.

ب) ضعف الصيانة والمتابعة:

لاحظنا خلال زياراتنا الميدانية أن بعض مقاطع الحواجز مهملة أو متضررة جزئياً مما يُقلل من فعاليتها. ويفسر المسؤولون المحليون ذلك بمحدودية اليد العاملة والاعتمادات المالية المرصودة للصيانة.

ج) محدودية الموارد المائية:

في المواقع التي تم فيها دمج التثبيت الميكانيكي مع تشجير (تثبيت بيولوجي) كانت محدودية مياه الري عائقاً كبيراً أمام نمو الشتلات خاصة أن معظم المواقع بعيدة عن الآبار العميقة.

د) تحديات تقنية:

أشارت دراسة "الديناميكية الهوائية للرمال" (2023) إلى أن فعالية الحواجز الموجهة تتأثر بشدة بتغير اتجاه الرياح خلال العواصف الرملية حيث أن تغيراً طفيفاً في زاوية هبوب الرياح (أكثر من 30 درجة) يُمكن أن يُحوّل الحاجز من مصدٍ فعالٍ إلى متسببٍ في تراكم الرمال على الطريق.

3. آليات التثبيت البيولوجي: دراسة حالة الحزام الأخضر لحماية واحة حاسي القارة

1.3 تقديم المشروع وأهدافه

يُعتبر "مشروع الحزام الأخضر لحماية واحة حاسي القارة" من أهم مشاريع التثبيت البيولوجي في منطقة المنيعة. وقد أطلقته محافظة الغابات بالولاية سنة 2019 بتمويل من صندوق مكافحة التصحر وتطوير السهوب. يهدف المشروع إلى:

- حماية واحة حاسي القارة (التي تضم أزيد من 80,000 نخلة) من زحف الكثبان الرملية القادمة من الغرب والشمال الغربي.
- تثبيت التربة الرملية عبر إقامة غطاء نباتي دائم.
- تحسين الظروف المناخية المحلية (خفض الحرارة رفع الرطوبة كسر الرياح).
- تنويع مصادر الدخل للسكان المحليين عبر إدماج أنواع نباتية ذات قيمة اقتصادية.
- خلق فضاءات رعوية إضافية للمواشي.

2.3 التقنيات البيولوجية والأنواع النباتية المستعملة

اعتمد المشروع على تشجير مساحة إجمالية تقدر بـــ 120 هكتاراً موزعة على شكل حزام أخضر بعرض يتراوح بين 200 و500 متر على أطراف الواحة الغربية والشمالية. وقد تم اختيار الأصناف النباتية بناءً على الدراسات التي أجراها المعهد الوطني للبحوث الغابية (INRF) ومركز البحث العلمي والتقني للمناطق الجافة (CRSTRA) مع مراعاة المعايير التالية:

أ) الأصناف النباتية المستعملة:

1. **الأرطا (*Calligonum comosum* L'Hér.):** شجيرة محلية متأقلمة مع أقصى ظروف الجفاف وهي من أبرز النبلتات التي ركزت عليها دراســـــة "تقييم فعالية النبلتات المحلية في التثبيت البيولوجي للكثبان الرملية بالصحراء الشمالية – حالة المنيعة" (2022). تتميز الأرطا بـــ:

- نظام جذري عميق ومتشـعب جداً (يصـل إلى 10–15 متراً) مما يجعلها "مرسـاة" طبيعية تثبت الكثيب بعمق.
- مقاومة استثنائية للجفاف والملوحة.
- قدرة عالية على الإمساك بالرمال وتشكيل "ربوات" حولها.
- إنتاج أعلاف رعوية (أغصانها الفتية) وأزهار عسلية.

- نسبة نجاح الغرس تجاوزت 85% حسب الدراسة المذكورة.

2. **الرتم (*Retama raetam* Forssk.):** شـــجيرة بقولية محلية مقاومة للجفاف تُشـــكل غطاءً كثيفاً يمنع تطاير الرمال.
3. **الأثل / الطرفا(*Tamarix aphylla* L.):** شـــجرة محلية مقاومة للملوحة والجفاف تُســـتعمل كمصدات رياح رئيسية.
4. **الأكاسيا (*Acacia* spp.):** خاصـة النوعين *Acacia tortilis* و *Acacia cyanophylla* وقد أظهرت نتائج جيدة من حيث سرعة النمو وتحسين خصوبة التربة.
5. **الكالبتوس (*Eucalyptus camaldulensis*):** اســـتُعمل بشـــكل محدود في المواقع القريبة من مصادر الري نظراً لاحتياجاته المائية المرتفعة نسبياً.

ب) تقنيات الغرس والري:

- تم غرس الشـــتلات (التي تم إنتاجها في مشـــتلة محافظة الغابات بالمنيعة) في حفر أبعادها 40×40×50 سم.
- المسافات بين الشتلات: 3×3 أمتار للأشجار و2×2 متر للشجيرات.
- تم مد شبكة ري بالتقطير (*Goutte-à-goutte*) انطلاقاً من بئرين عميقين يستغلان الطبقة الألبية.
- يُسقى كل نبات بـــ 20–30 لتراً من الماء كل 3–7 أيام حسب الفصل.

3.3 نتائج دراسة "تقييم فعالية النباتات المحلية" في المنيعة

وظفنا نتائج الدراسة الأكاديمية "تقييم فعالية النباتات المحلية في التثبيت البيولوجي للكثبان الرملية بالصحراء الشمالية – حالة المنيعة" (2022) في تحليلنا للمشروع. وقد خلصت هذه الدراسة بعد 3 سنوات من المتابعة الميدانية لقطع تجريبية في موقع حاسي القارة إلى النتائج التالية:

الجدول رقم 6: مقارنة أداء الأصناف النباتية في التثبيت البيولوجي بموقع حاسي القارة

الصنف النباتي	نسبة البقاء بعد 3 سنوات (%)	متوسط الارتفاع (م)	حجم "الربوة" الرملية المثبتة (م³)	تقييم عام
الأرطا (*Calligonum comosum*)	88	1.8	12.5	ممتاز
الأثل / الطرفا (*Tamarix aphylla*)	82	2.5	9.8	جيد جداً
الرتم (*Retama raetam*)	78	1.4	7.2	جيد
الأكاسيا (*Acacia tortilis*)	75	2.1	8.5	جيد

الكالبتوس (*Eucalyptus*)	55	3.2	6.0	متوسط

المصدر: عن دراسة "تقييم فعالية النباتات المحلية في التثبيت البيولوجي للكثبان الرملية – حالة المنيعة" (2022).

تُظهر هذه النتائج بوضوح تفوق الأرطا (*Calligonum comosum*) على باقي الأصناف من حيث نسبة البقاء والقدرة على تثبيت الرمال (تكوين "ربوات" حولها). ويعود هذا التفوق أساساً إلى نظامها الجذري العميق جداً والمتشعب الذي يسمح لها بالاستفادة من الرطوبة الجوفية حتى في أشد فترات الجفاف دون الاعتماد كلياً على الري. كما أظهرت الدراسة أن الأصناف المحلية (الأرطا الأثل الرتم) تُحقق عموماً نتائج أفضل من الصنف الدخيل (الكالبتوس) سواء من حيث نسبة البقاء أو من حيث تحمل الجفاف.

الصورة رقم 2: فعالية التثبيت المكانيكي والبيولوجي

الصورة رقم 3: الحزام الأخضر من أشجار (الطرفا) واحة حاسي القارة

4.3 تقييم فعالية الحزام الأخضر

أ) تثبيت الرمال وحماية الواحة:

أظهرت الزيارات الميدانية والصور الجوية (2020–2024) أن الحزام الأخضر قد نجح في:

- إيقاف زحف الكثبان الرملية الصغيرة والمتوسطة التي كانت تهدد بساتين النخيل الغربية.
- تقليل سرعة الرياح المحملة بالرمال بنسبة 40–60% عند اختراقها للحزام (حسب تقديرات تقنية).
- خلق مناخ محلي أكثر اعتدالاً داخل الواحة (انخفاض محسوس في درجة الحرارة تحت ظل الأشجار).

ب) استدامة المشروع:

على عكس العديد من مشاريع التشجير التي تفشل بعد سنتين أو ثلاث بسبب نقص المتابعة فإن هذا المشروع يُظهر نتائج مشجعة نسبياً. ويعود ذلك إلى:

- اعتماد نظام الري بالتقطير الذي يضمن اقتصاداً في الماء ويُجنب تبذيره.
- الاختيار الموفق للأصناف المحلية شديدة المقاومة (خاصة الأرطا) والتي تحتاج إلى ري تكميلي فقط وليس دائماً.
- استفادة المشروع من متابعة تقنية من طرف محافظة الغابات وباحثي الجامعة.

ج) الصعوبات والتحديات:

1. **ضعف الصيانة:** بعض مقاطع الحزام تعاني من إهمال جزئي (أنابيب ري مسدودة أو مقطوعة أعشاب ضارة تنافس الشتلات).
2. **الرعي الجائر:** يشكو القائمون على المشروع من دخول قطعان الماعز والإبل إلى الحزام خاصة في فترات الجفاف مما يُتلف الشتلات الصغيرة ويُعيق نموها.
3. **محدودية التوسع:** توسيع الحزام ليشمل كامل محيط الواحة يتطلب استثمارات مالية إضافية (حفر آبار جديدة مد شبكات ري) وهو ما يصطدم بمحدودية التمويل العمومي.
4. **تأثير الجفاف:** في سنوات الجفاف الشديد حتى الأصناف الأكثر مقاومة (مثل الأرطا) تظهر عليها علامات الإجهاد المائي.

4. خطوات تنفيذ مشاريع التثبيت على أرض الواقع

بناءً على المعاينة الميدانية لمشروعي الطريق الوطني رقم 1 وحاسي القارة وعلى الأدبيات التقنية (FAO, 2011) يُمكن تلخيص الخطوات المتسلسلة لتنفيذ أي مشروع تثبيت في المنطقة كما يلي:

1.4 المرحلة الأولى: التثبيت الميكانيكي الأولي (3–6 أشهر)

- **تنظيف الموقع:** إزالة العوائق والنباتات الميتة من على الكثيب.
- **نصب الحواجز:** تركيب حواجز سعف النخيل أو الأسيجة البلاستيكية بالشكل والمسافات المحددة في المخطط التقني.
- **التثبيت المؤقت:** في بعض الحالات يُستعمل "التغطية بالحصى" أو رش "المثبتات الكيميائية" (بتركيز خفيف) لتثبيت سطحي مؤقت لحين البدء في الغرس.

2.4 المرحلة الثانية: تهدئة حركة الرمال (شهر إلى شهرين)

تُعتبر هذه المرحلة فاصلة وحاسمة إذ يجب ترك فترة زمنية كافية (شهر إلى شهرين) بعد تركيب الحواجز الميكانيكية قبل الشروع في الغرس النباتي. والهدف من ذلك هو:

- السماح للرمال بالاستقرار واتخاذ وضعية توازن جديدة (تشكل "ربوات" صغيرة خلف الحواجز).
- تجنب تعرض الشتلات حديثة الغرس للطمر بالرمال أو الاقتلاع بفعل الرياح التي لم تخف حدتها بعد بشكل كاف.

3.4 المرحلة الثالثة: الغرس النباتي (شهرين إلى ثلاثة أشهر)

- **تحضير حفر الزراعة:** أبعاد 40×40×50 سم مع إضافة السماد العضوي (3–5 كغ/حفرة).
- **مد شبكة الري:** مد أنابيب الري بالتقطير مع منقطات (2–4 منقط/نبات) حسب حجم الشتلة.
- **الغرس:** زراعة الشتلات مع الحرص على أن يكون طوق الجذر في مستوى سطح الرمل تماماً.
- **السقي الفوري:** 50 لتر/شتلة مباشرة بعد الغرس لتثبيت التربة حول الجذور.

4.4 المرحلة الرابعة: الري والمتابعة (3–5 سنوات)

- **الري الدوري:** كل 3–7 أيام في الصيف وكل 10–15 يوماً في الشتاء حسب احتياجات كل صنف. يُوصى بأن يكون الري ليلاً أو في الصباح الباكر لتقليل التبخر.
- **إزالة الأعشاب الضارة:** مرة كل شهرين على الأقل خلال السنة الأولى.
- **مراقبة الآفات:** خاصة حشرة "المنّ" التي تُصيب أوراق الأثل والطرفاء.
- **تعويض الشتلات الميتة:** في نهاية كل موسم جفاف (شهر أكتوبر) تُحصى الشتلات الميتة وتُعوّض.
- **حماية الموقع:** تسييج محيط الموقع لمنع دخول المواشي وتعيين "حارس ميداني" من السكان المحليين.

5.4 المرحلة الخامسة: التثبيت الدائم (بعد 5 سنوات)

بعد مرور 5 سنوات على الغرس تكون النباتات قد نمت بما يكفي لتشكل غطاءً نباتياً دائماً وكثيفاً وبالتالي:

- يُمكن إزالة الحواجز الميكانيكية (خاصة البلاستيكية) التي تكون قد تآكلت.
- يُصبح الموقع "مستقراً بيئياً" ولا يحتاج إلا إلى متابعة خفيفة (ري تكميلي في فترات الجفاف الطويل).
- يُمكن فتح الموقع للرعي المنظم (وليس الجائر) بعد 7–8 سنوات وفق نظام "للدورات الرعوية".

خلاصة الفصل الثالث

أظهر تحليلنا لمشروعي "حماية الطريق الوطني رقم 1" و"الحزام الأخضر لحماية واحة حاسي القارة" أن استراتيجية الجمع بين التثبيت الميكانيكي والبيولوجي تُعتبر فعالة في السياق المحلي لولاية المنيعة إذا ما تم احترام المعايير التقنية (اختيار الأصناف توقيت التدخل الصيانة) وقد برهنت الدراسة على أن التقنيات المحلية (حواجز السعف النباتات المحلية كالقطف) تُنافس بل تتفوق أحياناً على التقنيات الحديثة والمستقدمة خاصة من حيث الكلفة والاستدامة البيئية والملاءمة للظروف المناخية القاسية غير أن نجاح هذه المشاريع واستمراريتها يظلان مرهونين بمدى توفر المتابعة والصيانة الدورية وتوفير الموارد المائية اللازمة وإشراك السكان المحليين في مختلف مراحل التدخل.

الفصل الرابع:
النتائج والمناقشة

تمهيد

بعد أن عرضنا في الفصل الثالث آليات التثبيت المعتمدة من خلال مشروعين تطبيقيين رئيسيين نخصص هذا الفصل لتقييم استراتيجي شامل لنتائج هذه المشاريع معتمدين على التحليل الكمي (صور الأقمار الصناعية نظم المعلومات الجغرافية الجداول الإحصائية) والكيفي (المشاهدات الميدانية المقابلات). سنتناول في هذا الفصل تطور مساحات الكثبان والأثر البيئي والاقتصادي والمجالي للمشاريع والتحسينات الجيوتقنية المقترحة قبل أن نناقش التحديات التي تواجه استدامة هذه التدخلات الخاصة بالتهيئة.

1. تحليل تطور مساحات الكثبان الرملية (2000–2024)

1.1 توظيف صور الأقمار الصناعية ونظم المعلومات الجغرافية

شكّل توظيف تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (SIG) إحدى الركائز الأساسية في بحثنا. فقد قمنا بمعالجة وتحليل سلسلة زمنية من صور القمر الصناعي Landsat 7 ETM+) و Landsat 8 OLI) بدقة مكانية 30 متراً غطت الفترة 2000–2024 وذلك باتباع الخطوات المنهجية التالية:

1. **تحميل الصور:** من موقع هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS Earth Explorer). وقد تم اختيار صور فصل الصيف (شهر جويلية) لتجنب تأثير الغطاء السحابي (شبه المعدوم في المنطقة) ولسهولة تمييز الكثبان الرملية العارية من الغطاء النباتي.
2. **المعالجة الأولية:** تصحيح الصور إشعاعياً وجوياً باستخدام خوارزمية (Dark Object Subtraction) المتاحة في برنامج QSIG.
3. **التصنيف الموجه:** استخدمنا خوارزمية "التصنيف بأقصى احتمال" (*Maximum Likelihood Classification*) لتصنيف الغطاء الأرضي إلى 5 فئات رئيسية: (1) كثبان رملية نشطة (2) أراضي جرداء/ركية (3) غطاء نباتي طبيعي (4) ولحات وأراضي زراعية (5) مناطق عمرانية وطرقات.
4. **حساب التغيرات:** باستخدام أداة (Land Change Modeler) في برنامج (TerrSet) يمكن حساب مصفوفة التغير بين الفترات الزمنية المختلفة (2000–2010 2010–2020 2020–2024) مما أتاح لنا قياساً كمياً لتطور مساحة كل فئة.
5. **التحقق الأرضي:** تم التحقق من دقة التصنيف من خلال 50 نقطة مراقبة أرضية جمعت خلال الخرجات الميدانية وقد بلغت دقة التصنيف الإجمالية 87% وهو معدل مقبول في الدراسات البيئية.

2.1 نتائج تحليل تغيرات الغطاء الأرضي

الجدول رقم 7: تطور مساحات الكثبان الرملية النشطة في ولاية المنيعة (2000–2024)

الفترة	مساحة الكثبان النشطة (هكتار)	التغير (هكتار)	معدل التغير السنوي (%)
2000	124,500	-	-
2010	141,800	+17,300	+1.39
2020	155,200	+13,400	+0.95
2024	157,600	+2,400	+0.39

المصدر: تحليل الصور Landsat (2000-2024) باستخدام QSIG وTerrSet.

يُستنتج من هذا الجدول ما يلي:

أ) اتجاه عام نحو الزحف:

تؤكد المعطيات الكمية اتجاهاً عاماً نحو زيادة مساحة الكثبان الرملية النشطة في ولاية المنيعة حيث ارتفعت من حوالي 124,500 هكتار سنة 2000 إلى 157,600 هكتار سنة 2024 أي بزيادة إجمالية تقدر بـــ 33,100 هكتار (ما يعادل 26.6%). وهذا الاتجاه يتماشى مع ما سجلته الدراسة الجيومورفولوجية للمنطقة (2020) من "تقدم مطرد للجبهات الرملية على حساب الأراضي الجرداء وبعض المساحات الزراعية الهامشية".

ب) تباطؤ في معدل الزحف:

على الرغم من هذا الاتجاه العام التصاعدي إلا أن معدل التغير السنوي قد شهد تباطؤاً ملحوظاً حيث انخفض من 1.39% خلال العشرية الأولى (2000–2010) إلى 0.39% فقط خلال السنوات الأخيرة (2020–2024). ويُعزى هذا التباطؤ إلى العوامل التالية:

- **أثر مشاريع التثبيت:** التدخلات الميكانيكية والبيولوجية المنجزة منذ 2018 (خاصة على جانبي الطريق الوطني رقم 1 وحول ولحة حاســـي للقارة) نجحت في تثبيت مســـاحات معتبرة من الكثبان كانت تُصنف سابقاً على أنها "نشطة" مما قلّص من وتيرة الزحف الصافي.
- **تراجع الضـغط البشـري:** تقلصـت بعض الأنشـطة البشـرية الضـاغطة (كالرعي الجائر في المناطق القريبة من المشاريع المسيجة والاحتطاب العشوائي) بفعل حملات التوعية والمراقبة.

ج) اتجاهات الحركة الريحية وتأثيرها على العناصر المجالية:

أكدت معالجة صور الأقمار الصناعية أن الاتجاه العام لحركة الكثبان هو من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي وهو ما يتماشى مع اتجاه الرياح السائدة.

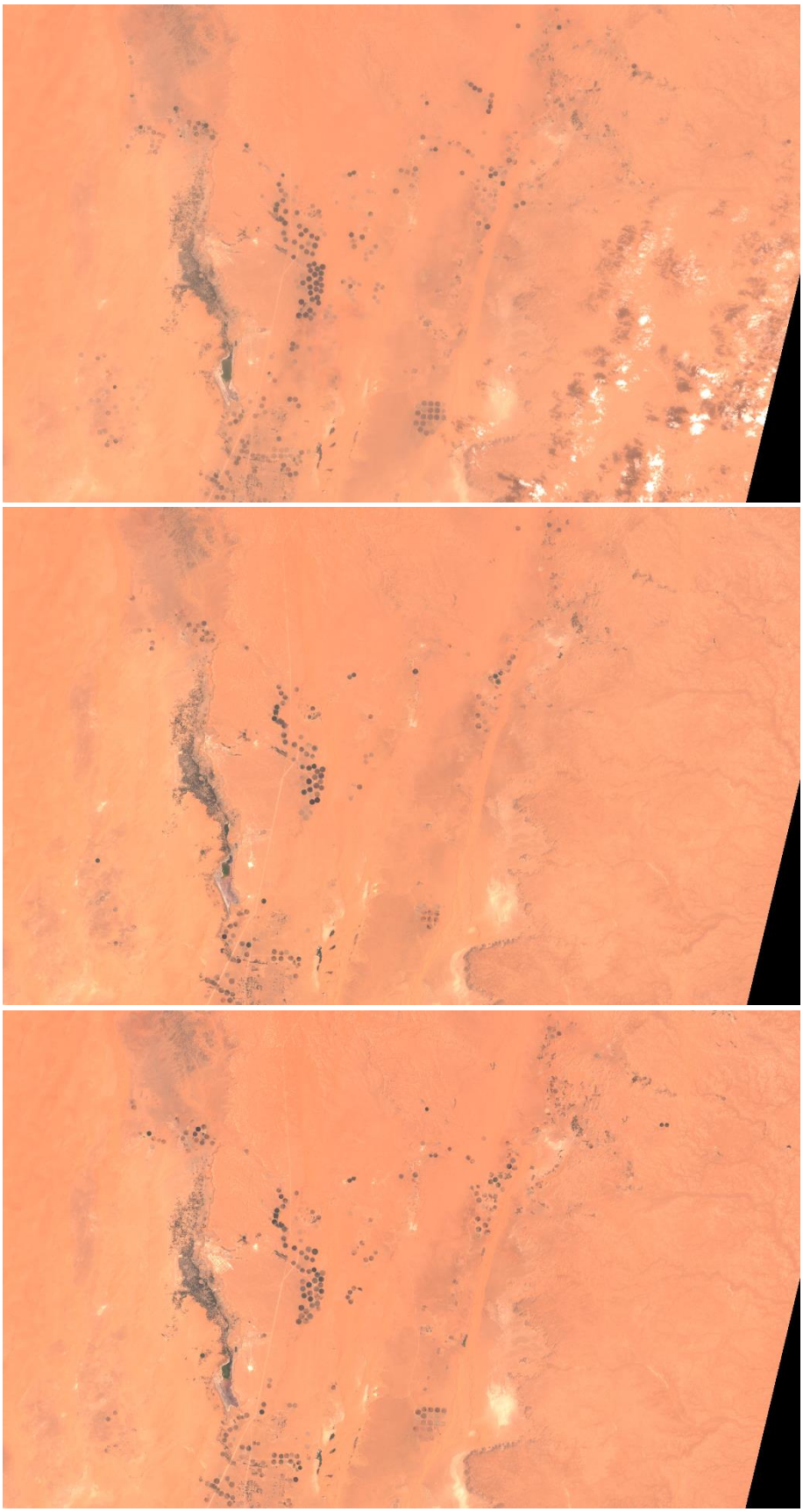
وقد حددنا ثلاثة محاور رئيسية لزحف الرمال تهدد بشكل مباشر:

1. **محور الطريق الوطني رقم 1:** الكثبان المتقدمة من الغرب نحو الطريق في المقطع بين المنيعة وحاسي القارة.
2. **محور واحة حاسي القارة:** الكثبان المتقدمة نحو الأطراف الغربية والشمالية الغربية للواحة.
3. **محور التوسع العمراني:** الكثبان التي تزحف نحو الأطراف الجنوبية الشرقية لمدينة المنيعة مما يُشكل خطراً على مشاريع التوسع العمراني المستقبلية (POS 2025).

3.1 تقدير سرعة تقدم الكثبان (معدل الزحف السنوي)

باستخدام تقنية مقارنة الصور المتعاقبة زمنياً (Image Differencing) تمكنا من تقدير سرعة تقدم الجبهات الرملية في عدة قطاعات. وقد تراوح معدل التقدم بين 3 و5 أمتار سنوياً في المتوسط لكنه وصل إلى 8–10 أمتار في بعض المواقع شديدة النشاط والقريبة من العرق الغربي الكبير. وهذه النتائج تتقاطع مع ما خلصت إليه دراسة "الديناميكية الهوائية للرمال" (2023) التي قدرت متوسط سرعة التقدم بـ 4.2 متر/سنة في منطقة المنيعة، ومن خلال مقارنة وتحليل أولي لصور القمر الصناعي Landsat 8-9 يتبين لنا ما يلي:

- **مسارات الرياح السائدة:** تظهر في الأجزاء الخالية من الغطاء النباتي أشرطة جيومورفولوجية ذات انعكاسية عالية (اللون الفاتح أو المائل للبياض)، وهي تشير إلى مسارات الكثبان والأغطية الرملية. اتجاه هذه التموجات يدل بوضوح على محور الرياح السائدة في المنطقة (والذي يظهر بشكل عام من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي).
- **التفاعل مع الأراضي المستصلحة:** عند المقارنة بين عامي 2021 و 2025، يتبين أن بعض المسارات الرملية النشطة بدأت تقترب وتتداخل مع حواف الدوائر الزراعية الحديثة. كما تبدو بعض الدوائر القديمة وكأنها فقدت تجانسها، مما قد يكون مؤشراً على تأثير الرياح المحملة بالرمال أو بداية تدهور التربة.
- **السبخة / المنخفض الملحي:** في الجزء الأوسط الأيسر (جنوب التجمع العمراني)، تظهر منطقة منخفضة متغيرة الحواف تعكس خصائص السبخات. يلاحظ تغير طفيف في لون وحواف هذه المنطقة بين السنوات الثلاث، مما قد يرتبط بتغيرات في معدلات التبخر، تراكم الأملاح، والرمال الدقيقة التي تسوقها الرياح.



المصدر: صور القمر الصناعي Landsat

الصورة رقم 4: صور القمر الصناعي *Landsat 9-8*

2. التحليل الزماني–المكاني لمؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) بولاية المنيعة (1985، 2005 و2025)

1.2 هدف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل التطور الزماني–المكاني للغطاء النباتي بولاية المنيعة من خلال مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) المحسوب لثلاث تواريخ مرجعية هي: 1985، 2005 و2025. وتسمح هذه المقاربة بتحديد المناطق التي حافظت على استقرارها النباتي، وتلك التي شهدت تراجعاً في الغطاء النباتي، إضافة إلى المناطق التي يمكن ملاحظة تحسن نسبي في كثافتها النباتية.

ويُعد مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) مؤشراً بسيطاً وموثوقاً لدراسة ديناميكيات الغطاء النباتي في البيئات الجافة وشبه الجافة. وفي سياق منطقة المنيعة، حيث تتميز المساحات النباتية بندرتها وتشتتها المكاني، يوفر التحليل متعدد التواريخ لمؤشر NDVI قراءة واضحة للتحولات التي عرفها الوسط البيئي.

2.2 البيانات المستخدمة وإعداد الصور

اعتمدت الدراسة على صور الأقمار الصناعية **Landsat** التي تمت معالجتها ضمن منصة **Google Earth Engine (GEE)**. وقد تم إنتاج بيانات سنتي 1985 و2005 اعتماداً على القمر **Landsat 5**، في حين استُخدمت بيانات **Landsat 8/9** لإنتاج صورة سنة 2025.

ولضمان قابلية المقارنة بين النتائج، جرى اختيار الصور ضمن الفترة الموسمية نفسها (من مارس إلى ماي)، وذلك للحد من تأثير التغيرات الفينولوجية والفروقات الموسمية بين الفترات الزمنية المدروسة.

وقبل حساب مؤشر NDVI، خضعت المشاهد الفضائية لسلسلة من المعالجات الأولية شملت:

1. حجب السحب والظلال والبكسلات المتأثرة بالاضطرابات اعتماداً على حزمة الجودة **QA_PIXEL**.
2. تطبيق التصحيح الإشعاعي الخاص بمنتجات **Landsat Collection 2 Level 2**.
3. إنشاء مركب وسطي سنوي (Annual Median Composite) لكل سنة مرجعية.
4. اقتطاع النتائج وفق حدود منطقة الدراسة المحددة بواسطة ملف **asset roi**.

2.3 منهجية العمل (Workflow méthodologique)

1. تحديد منطقة الدراسة انطلاقاً من الطبقة المتجهية (Vector Asset) المستوردة إلى منصة GEE.
2. اختيار مشاهد Landsat الموافقة للسنوات 1985 و2005 و2025.

3. ترشيح الصور وفق الفترة الموسمية نفسها لجميع التواريخ المدروسة.
4. حجب السحب والظلال والبكسلات غير القابلة للاستغلال باستعمال حزمة **QA_PIXEL**.
5. حساب المركب الوسطي السنوي لكل سنة للحصول على صورة تمثيلية.
6. حساب مؤشر NDVI اعتماداً على الحزمتين الحمراء (Red) وتحت الحمراء القريبة (Near Infrared).
7. استخراج الإحصائيات الوصفية: القيمة الدنيا، القيمة القصوى، المتوسط الحسابي والانحراف المعياري.
8. إعادة تصنيف قيم NDVI إلى أربع فئات موضوعاتية لأغراض التحليل المكاني.
9. حساب المساحات الخاصة بكل فئة ولكل سنة.
10. إنتاج خرائط التغير من خلال حساب الفروق بين الفترات الزمنية (1985–2005، 2005–2025 و1985–2025).
11. تصدير الخرائط النقطية (Raster) والجداول الإحصائية بصيغة CSV لإدماجها في المذكرة.

4.2 تحليل النتائج

تُظهر الإحصائيات الوصفية لمؤشر NDVI تطوراً متبايناً خلال الفترة المدروسة. ففي سنة 1985 بلغ متوسط المؤشر **0.100**، مع قيمة دنيا قدرها **-0.318** وقيمة قصوى بلغت **0.628**.

أما سنة 2005 فقد سجل المتوسط انخفاضاً طفيفاً ليصل إلى **0.088**، في حين ارتفعت القيمة القصوى إلى **0.999**، وهو ما يعكس وجود بكسلات ذات استجابة نباتية مرتفعة جداً، يُحتمل أن تكون مرتبطة بمناطق محدودة وموضعية ذات كثافة نباتية عالية.

وفي سنة 2025 ارتفع متوسط المؤشر إلى **0.122**، مع قيمة قصوى بلغت **0.882** وانحراف معياري أكبر مقارنة بالفترات السابقة، مما يشير إلى تباين مكاني أكبر في توزيع قيم الغطاء النباتي داخل منطقة الدراسة.

ويلخص الجدول الآتي الإحصائيات الوصفية لمؤشر NDVI خلال التواريخ الثلاثة محل الدراسة.

الجدول رقم 8: جدول الإحصائيات الوصفية لمؤشر *NDVI* خلال الفترات المدروسة

السنة	الحد الأدنى لـ NDVI	الحد الأقصى لـ NDVI	متوسط NDVI	الانحراف المعياري
1985	-0.318	0.628	0.100	0.013

2005	-0.484	0.999	0.088	0.013
2025	-0.562	0.882	0.122	0.038

يجب التعامل مع تفسير النتائج بحذر. ففي البيئات الصحراوية وشبه الصحراوية، تُعد القيم المنخفضة لمؤشر NDVI شائعة ولا تعني بالضرورة غياباً كاملاً للغطاء النباتي، بل تعكس في الغالب هيمنة التربة العارية، والمساحات ضعيفة التغطية النباتية، والنباتات المتناثرة. وفي هذه الدراسة، تُظهر سنة 2005 أعلى نسبة من الفئات ذات القيم المنخفضة جداً لمؤشر NDVI، مما يشير إلى تزايد هيمنة الأراضي العارية. وفي المقابل، تُسجل سنة 2025 تحسناً طفيفاً في متوسط المؤشر، مصحوباً بزيادة في المساحات المصنفة ضمن فئتي NDVI المنخفض والمتوسط.

وقد يُعزى هذا التطور إلى عدة عوامل، منها وجود المساحات الزراعية المسقية، والتغيرات السنوية في الظروف المناخية، واتساع بعض الجيوب النباتية، أو تأثير مشاريع التهيئة المحلية. ومع ذلك، فإن تحليل NDVI وحده لا يسمح بتحديد سبب وحيد لهذه التغيرات، لكنه يوفر أساساً علمياً متيناً لمناقشة ديناميكيات الغطاء النباتي على مستوى منطقة المنيعة.

5.2 توزيع فئات مؤشر NDVI

لتسهيل القراءة الخرائطية والتفسير المكاني، أُعيد تصنيف مؤشر NDVI إلى أربع فئات رئيسية هي:

1. NDVI منخفض جداً.
2. NDVI منخفض.
3. NDVI متوسط.
4. NDVI مرتفع.

ويعرض الجدول الآتي المساحات والنسب المئوية الخاصة بكل فئة خلال سنوات الدراسة الثلاث.

الجدول رقم9 : الآتي المساحات والنسب المئوية الخاصة بكل فئة خلال سنوات الدراسة

الفئة	1985 (ha)	1985 (%)	2005 (ha)	2005 (%)	2025 (ha)	2025 (%)
NDVI منخفض جداً	3,588,255	56.52	5,156,151	81.22	397,883	6.27
NDVI منخفض	2,752,682	43.36	1,183,380	18.64	5,902,182	92.98
NDVI متوسط	757.3	0.01	1,708	0.03	12,384	0.20
NDVI مرتفع	169.6	0.00	625.7	0.01	29,414	0.46

تشير النتائج إلى أن فئة NDVI المنخفض جداً كانت تمثل 56.52% من مساحة منطقة الدراسة سنة 1985، بينما غطت فئة NDVI المنخفض نسبة 43.36%. أما الفئتان المتوسطة والمرتفعة فقد ظلتا محدودتي الامتداد.

وفي سنة 2005 أصبحت فئة NDVI المنخفض جداً هي الفئة المهيمنة بنسبة 81.22% من المساحة الإجمالية، وهو ما يعكس تقلص الغطاء النباتي أو زيادة سيطرة المساحات ضعيفة التغطية النباتية. أما في سنة 2025 فقد شهد التنظيم المكاني تحولاً ملحوظاً، حيث أصبحت فئة NDVI المنخفض تمثل 92.98% من المنطقة، في حين تراجعت فئة NDVI المنخفض جداً إلى 6.27%. ويمكن تفسير هذا الوضع بحدوث إعادة توزيع للغطاء النباتي نحو قيم أكثر إيجابية نسبياً، دون أن يعكس ذلك بالضرورة ظهور غطاء نباتي كثيف.

6.2 خرائط وقراءة التغيرات

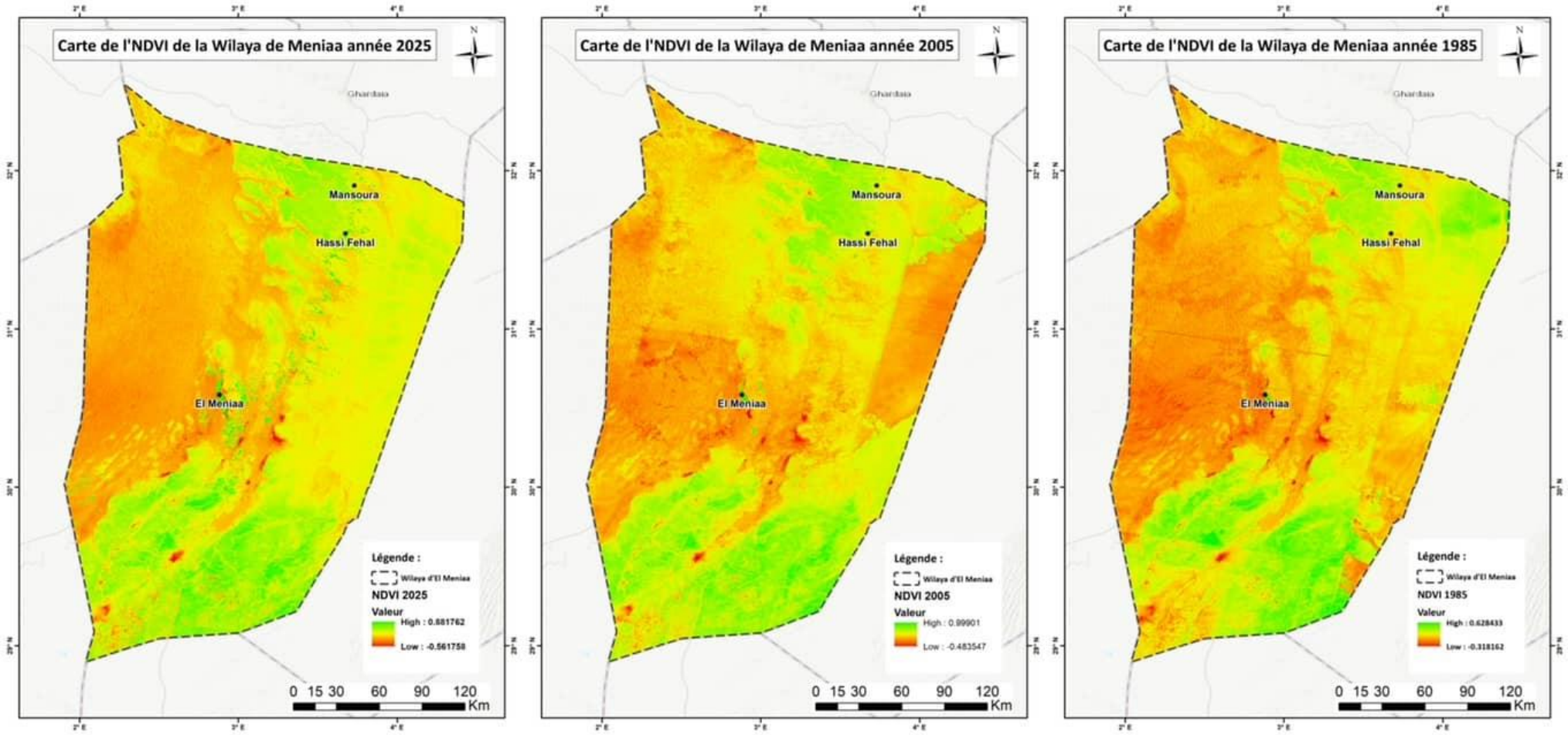
أتاحت خرائط فروق NDVI الناتجة عن طرح القيم بين الفترات الزمنية المختلفة تحديد مناطق التدهور والتحسن النسبي للغطاء النباتي.

وتبرز خريطة ΔNDVI (1985–2005) المناطق التي شهدت انخفاضاً في النشاط النباتي، بينما تكشف خريطة ΔNDVI (2005–2025) عن جيوب محلية شهدت تحسناً في الغطاء النباتي. أما خريطة ΔNDVI (1985–2025) فتمثل أفضل تركيب بصري لتوضيح المسار العام لتطور المجال خلال أربعين سنة.

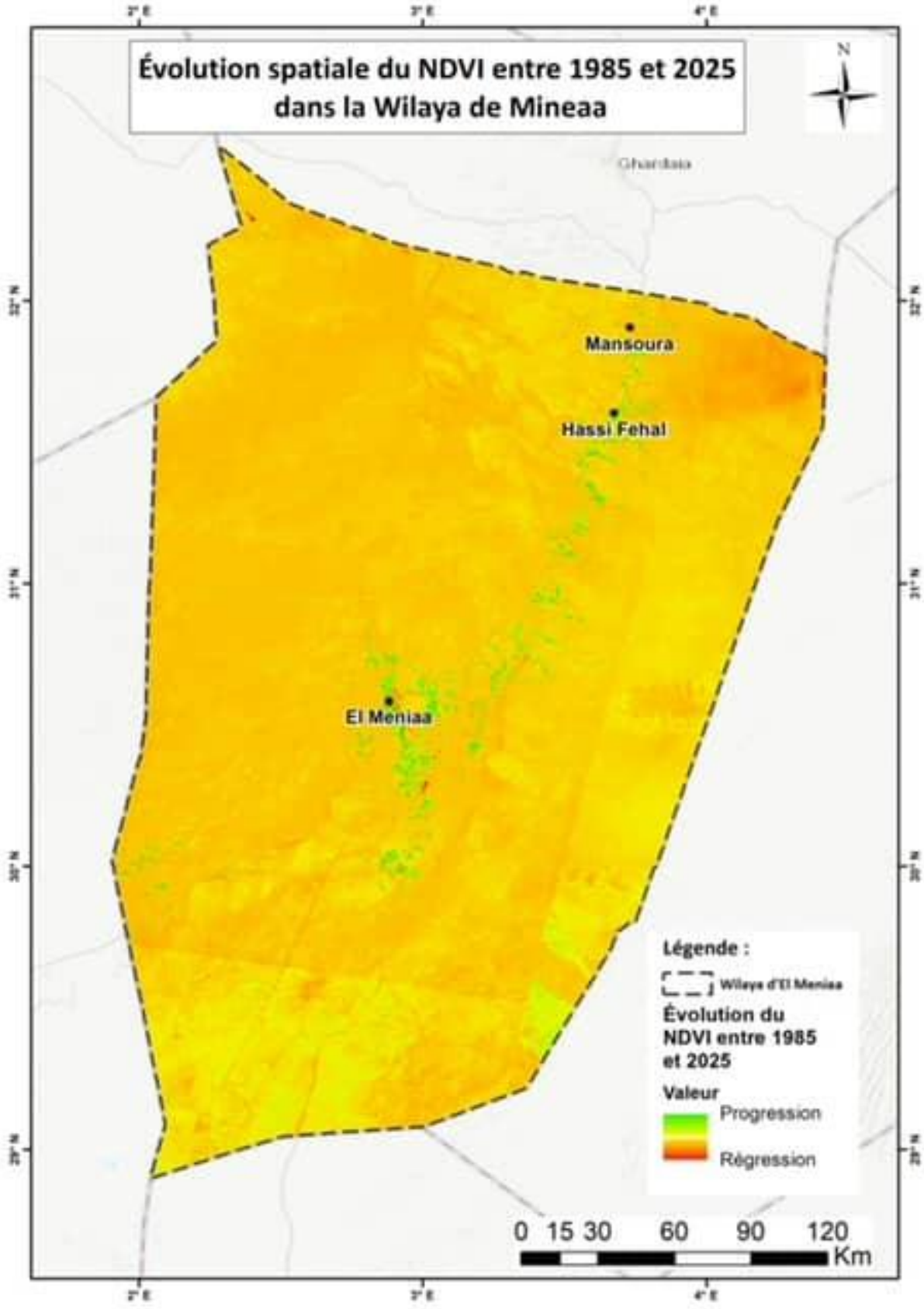
ولأغراض كتابة المذكرة، يُستحسن تحليل الخرائط وفق ثلاثة مستويات رئيسية:

- المناطق المستقرة ذات قيم NDVI المنخفضة، والتي تهيمن عليها عادة الأراضي العارية.
- المناطق التي شهدت تحسناً نسبياً، وغالباً ما ترتبط بالمحيطات الزراعية والمساحات المسقية أو بالنباتات المرتبطة بالنشاط البشري.
- المناطق المتراجعة التي انخفضت فيها كثافة الغطاء النباتي خلال الفترة المدروسة.

خريطة رقم 3: خرائط مؤشر *NDVI* ولاية المنيعة للسنوات 1985، 2005، 2025



خريطة رقم 4: خريطة التطور المكاني لمؤشر *NDVI* بين 1985 و2025 لولاية المنيعة



2.7 المناقشة

أبرز التحليل الزماني–المكاني لمؤشر NDVI المنجز بولاية المنيعة خلال الفترة 1985–2025 تطوراً تدريجياً للنشاط النباتي داخل بيئة صحراوية تتسم بقيود شديدة مرتبطة بالجفاف. وفي هذا السياق، ينبغي تفسير قيم المؤشر بحذر. فقد أوضح عدد من الباحثين أن مؤشر NDVI في البيئات الجافة والصحراوية لا يعكس فقط الغطاء النباتي الطبيعي، بل يُعد كذلك مؤشراً مهماً للنشاط الزراعي، ومستوى الري، ومدى توفر الموارد المائية **(Hirche et al., 2019 ; Vélez, 2023)**.

وتبين النتائج المسجلة انخفاضاً طفيفاً في متوسط NDVI بين سنتي 1985 و2005، تلاه ارتفاع ملحوظ سنة 2025. ويشير هذا التطور إلى وجود مرحلتين أساسيتين؛ تمثلت الأولى في حالة من الاستقرار النسبي أو التراجع المحدود للنشاط التمثيلي الضوئي نتيجة الضغوط المائية والتقلبات المناخية المميزة للأقاليم الصحراوية، في حين تميزت المرحلة الثانية بتحسن واضح في قيم NDVI، بما يعكس ارتفاع النشاط النباتي على المستوى الجهوي.

وفي منطقة المنيعة، لا يمكن تفسير هذا التحسن باعتباره زيادة تلقائية للغطاء النباتي الطبيعي، بل يرتبط بدرجة أكبر بتوسع الزراعة المسقية، وامتداد محيطات الاستصلاح الزراعي، وزيادة استغلال الموارد المائية الجوفية. وتشير الدراسات الحديثة المنجزة في البيئات الجافة إلى أن ارتفاع قيم NDVI في المناطق الصحراوية غالباً ما يرتبط بالتوسع الزراعي وتكثيف عمليات الري أكثر من ارتباطه بتغيرات طبيعية في الوسط البيئي.

كما تؤكد دراسة المساحات المصنفة حسب فئات NDVI هذا الاتجاه، حيث تتوافق أعلى القيم غالباً مع المحيطات الزراعية وواحات النخيل والمناطق المستفيدة من إمدادات مائية دائمة، بينما تتركز القيم المنخفضة في المجالات الصحراوية والكثبان الرملية والترب العارية التي تشكل المظهر الغالب للمشهد الطبيعي.

وتتوافق هذه النتائج مع ما توصلت إليه العديد من الدراسات المنجزة في المناطق الجافة بالجزائر وشمال إفريقيا، والتي تؤكد أن ديناميكية NDVI ترتبط أساساً بتوفر المياه، سواء من خلال التساقطات المطرية أو أنظمة الري، وأن هذا المؤشر يمثل أداة فعالة لمتابعة النظم الزراعية والمجالات المسقية.

ومع ذلك، يشير بعض الباحثين إلى وجود حدود منهجية لاستعمال NDVI في البيئات الجافة، نظراً لتأثير ضعف الكثافة النباتية وارتفاع انعكاسية الترب العارية والرطوبة السطحية على الإشارة الطيفية، وهو ما قد يؤدي إلى المبالغة أو التقليل من تقدير الديناميكية النباتية الفعلية.

وعليه، يمكن اعتبار الارتفاع المسجل في قيم NDVI سنة 2025 مؤشراً غير مباشر على تطور النشاط الزراعي بالمنطقة، بما يعكس توسع المساحات المزروعة، وتزايد الاستغلال الزراعي المسقي، والاستصلاح التدريجي للأراضي الصحراوية. كما يبرز هذا التطور الأهمية الاستراتيجية للمياه الجوفية في دعم الأنشطة الاقتصادية وتحويل المشاهد الصحراوية.

ومن منظور مجالي، تؤكد النتائج الدور المحوري للزراعة المسقية في تشكيل الديناميكية المكانية لمنطقة المنيعة، غير أن استدامة هذه الديناميكية تبقى رهينة بمدى توفر الموارد المائية وحسن تسييرها، خاصة في ظل التغيرات المناخية وتزايد الضغط على المخزون الجوفي للمياه.

وفي الختام، تعكس التغيرات المسجلة في مؤشر NDVI خلال الفترة 1985–2025 التحولات التي عرفها النظام الزراعي بالمنطقة أكثر مما تعكس تطوراً في الغطاء النباتي الطبيعي، وهو ما يؤكد الدور الحاسم للمياه والري في تنظيم وعمل النظم البيئية الصحراوية.

3. الأثر البيئي للمشاريع

1.3 استرجاع الغطاء النباتي

أظهر التصنيف الموجه لصور الأقمار الصناعية أن مساحة الغطاء النباتي الطبيعي والمزروع قد ارتفعت من حوالي 18,500 هكتار سنة 2010 إلى حوالي 22,800 هكتار سنة 2024 أي بزيادة 4,300 هكتار (23%). وتتركز هذه الزيادة في المناطق التي شملتها مشاريع التثبيت (حاسي القارة بلبشير). وهذا يعكس نجاحاً بيئياً ملموساً في "استعادة النظم الإيكولوجية" (*Restauration écologique*) وهو أحد الأهداف الأساسية لاتفاقية مكافحة التصحر.

2.3 تقليل الانجراف الريحي واستقرار التربة

أثبتت القياسات التي قامت بها محطة (CRSTRA) بتقرت (2022) حول فعالية المصدات النباتية أن الحزام الأخضر بحاسي القارة قد خفّض سرعة الرياح على ارتفاع 1 متر من السطح بنسبة تتراوح بين 45% و60% مما أدى إلى:

1. انخفاض كبير في كمية الرمال المنقولة يومياً (من 120 غ/م²/يوم قبل المشـــروع إلى حوالي 30 غ/م²/يوم بعده).
2. اســتقرار التربة الرملية وتشــكل طبقة ســطحية شــبه متماســكة من "القشــرة البيولوجية" (*Croûte biologique*) المكونة من الطحالب والفطريات والأشنات التي تُساهم بدورها في تثبيت الرمال.

3.3 تحسين التوازن الإيكولوجي

رصدنا خلال الزيارات الميدانية عودة تدريجية لبعض عناصر التنوع الحيواني إلى المناطق المثبتة خاصة:

- الحشرات الملقحة (النحل الفراشات) التي تنجذب إلى أزهار الأكاسيا والأرطا.
- الزواحف الصحراوية (الضب الوزغة) التي تستظل بالشجيرات.
- الطيور المهاجرة التي تتخذ من الأشجار محطات استراحة.

وهذا مؤشر إيجابي على أن مشاريع التثبيت لا تقتصر على "تثبيت الرمال" فحسب بل تتعداه إلى "إعادة بناء النسيج الإيكولوجي" للمنطقة شرط أن تستمر المتابعة والحماية.

4. الأثر الاقتصادي والمجالي

1.4 حماية الطريق الوطني رقم 1

كما فصلنا في الفصل الثالث أدى مشروع التثبيت الميكانيكي إلى:

- **تأمين حركة النقل:** عدم تسجيل أي انسداد كلي للطريق منذ 2019.
- **توفير مالي:** توفير حوالي 17 مليون دج سنوياً من ميزانية إزالة الرمال.
- **تقليل حوادث المرور:** انخفضت الحوادث الناجمة عن تراكم الرمال على الطريق بنسبة 70% (حسب إحصائيات الدرك الوطني 2023).

2.4 حماية المستثمرات الفلاحية

يُشير تقرير مديرية المصالح الفلاحية (DSA, 2024) إلى أن مشاريع التثبيت (خاصة الحزام الأخضر) قد ساهمت في:

- حماية أزيد من **1,020 مستثمرة فلاحية** من خطر الانجراف والطمر بالرمال خاصة في المناطق الغربية من بلديتي المنيعة وحاسي القارة.
- تثبيت النشاط الزراعي كمحرك للتنمية المحلية حيث أن استقرار الواحات يُشجع الفلاحين على الاستثمار طويل المدى (غرس نخيل جديد توسيع المساحات المزروعة).
- تنويع مصادر الدخل: استفاد بعض السكان من بيع منتجات الأشجار المثمرة (الزيتون) والأعلاف (أغصان الأرطا والأكاسيا) مما خلق مداخيل إضافية.

3.4 تقليل خسائر البنية التحتية

بالإضافة إلى الطريق الوطني ساهمت مشاريع التثبيت في حماية:

- **شـــبكات الكهرباء والغاز:** أبراج الضـــغط العالي وأنابيب نقل المحروقات (GR5, GR6) التي كانت مهددة بالطمر.
- **شبكات الري والصرف:** قنوات الري الجماعية التي كانت تنسد بالرمال.
- **التجمعات السكنية:** خاصة الأحياء الواقعة على الأطراف الغربية لمدينة المنيعة.

4.4 أهمية المشاريع في التهيئة العمرانية

من منظور التهيئة العمرانية تُعتبر مشاريع تثبيت الكثبان الرملية عاملاً أساسياً في "تأمين المجال" و"توجيه التوسع العمراني". فبدون هذه المشاريع تظل الأراضي الواقعة في مهب الرياح غير قابلة للتعمير مما يُجبر المخططات العمرانية (PDAU, POS) على حصر التوسع في اتجاهات محدودة ويُفاقم الضغط على الأراضي الزراعية. وبالتالي فإن تثبيت الكثبان يُحرر مجالاً جديداً للتوسع العمراني المنظم ويُساهم في "التوازن المجالي" للمدينة.

5. التحسينات الجيوتقنية المقترحة لاستدامة التهيئة

1.5 مقارنة بين التثبيت التقليدي والتثبيت الجيوتقني الحديث

على الرغم من الفعالية المُثبتة للتقنيات التقليدية (الميكانيكية والبيولوجية) إلا أن لها حدوداً خاصة في المواقع شديدة التعرض للرياح أو التي تعاني من نقص حاد في المياه. لذلك نقترح في هذا المبحث دراسة إمكانية إدماج تقنيات "التثبيت الجيوتقني" (Stabilisation géotechnique) كحلول تكميلية مبتكرة قليلة الكلفة وصديقة للبيئة. وقد استندنا في هذا الاقتراح إلى نتائج أولية لدراسات أكاديمية جزائرية حديثة (2022–2023) اختبرت هذه التقنيات في ظروف مشابهة (ورقلة تقرت).

الجدول رقم 10: مقارنة أولية بين التثبيت التقليدي والتثبيت الجيوتقني المقترح

المعيار	التثبيت التقليدي (ميكانيكي + بيولوجي)	التثبيت الجيوتقني المقترح (البنتونيت البوليمرات)
المبدأ	خفض سرعة الرياح + تثبيت الجذور	تحسين تماسك التربة كيميائياً وفيزيائياً
العمر الافتراضي	3-5 سنوات (ميكانيكي) دائم (بيولوجي)	5-10 سنوات (قابل للتجديد)
التكلفة الأولية (تقديرية)	150,000 – 400,000 دج/هك	200,000 – 300,000 دج/هك

الحاجة إلى الري	ضرورية (للبيولوجي)	غير ضرورية (للمواد الكيميائية)
الأثر البيئي	إيجابي (بيولوجي) محايد (ميكانيكي)	يحتاج إلى تقييم دقيق (للبوليمرات)
مقاومة الرياح القوية	جيدة	ممتازة (تثبيت سطحي صلب)

المصدر: من إعداد الطالبة بناءً على الدراسات الأولية (2022–2023).

2.5 تقييم إمكانية استعمال المثبتات الجيوتقنية في المنيعة

أ) البنتونيت (Bentonite):

البنتونيت هو طين طبيعي ذو قدرة عالية على الانتفاخ والامتصاص (حتى 15 ضعف حجمه من الماء) مما يُشكل "هلاماً" (Gel) يلصق حبيبات الرمل ببعضها. وقد أظهرت تجارب أولية في منطقة ورقلة (2022) أن إضافة 5–7% من البنتونيت إلى الرمل الصحراوي زادت من تماسكه بمقدار 3–5 أضعاف.

ويتميز البنتونيت بكونه:

- مادة طبيعية متوفرة في الجزائر (مناجم Hammam Boughrara بتلمسان و M'zila بغرداية) مما يُخفض تكلفة النقل إلى المنيعة.
- غير ملوث للبيئة.
- مقاوم للحرارة والعوامل الجوية.

وعيبه الرئيسي هو أنه يفقد فعاليته إذا تعرض لدورات متكررة من "الترطيب–التجفيف" مما يستوجب إضافته بشكل دوري (كل 3–5 سنوات).

ب) البوليمرات الصديقة للبيئة (Biopolymères):

تمثل البوليمرات الحيوية (مثل PVA *Polyvinyl Acetate* أو البوليمرات المستخلصة من الطحالب) حلولاً مبتكرة واعدة. فهي تُشكل غشاءً رقيقاً غير مرئي على سطح حبيبات الرمل يربطها ببعضها ويمنع تطايرها دون أن يمنع تسرب الماء أو نمو الجذور. وقد أشارت دراسة (2023) أجريت في تقرت إلى أن رش محلول مخفف من PVA بتركيز 2% على سطح الكثيب أدى إلى:

- خفض الانجراف الريحي بنسبة 90% لمدة 6 أشهر.
- عدم إعاقة نمو بذور النباتات المحلية.

وعيب هذه التقنية حالياً هو كلفتها المرتفعة نسبياً (حوالي 500,000 دج/هكتار) وعدم توفر المنتج محلياً بعد. لكن الدراسات جارية لتطوير بدائل محلية أقل كلفة.

ج) مدى ملاءمة هذه التقنيات لظروف المنيعة:

تكتسي هذه المقترحات الجيوتقنية أهمية خاصة في المواقع التي يصعب فيها تطبيق التثبيت البيولوجي لانعدام مصدر مائي قريب أو في المواقع الحرجة التي تتطلب تثبيتاً فورياً وقوياً (مثل جوانب الطرقات وأساسات الأبراج). ونوصي بإجراء تجارب ميدانية محدودة النطاق في ولاية المنيعة لتقييم أداء هذه المواد في الظروف المناخية والترابية المحلية قبل تعميمها.

6. مناقشة النتائج والتحديات

1.6 تقييم نجاعة المشاريع المنجزة

تُظهر النتائج الكمية والكيفية التي عرضناها أن مشاريع التثبيت المنجزة في ولاية المنيعة (الطريق الوطني حاسي القارة) قد حققت أهدافها الأساسية والمتمثلة في:

- **تقليص مخاطر زحف الرمال** على البنى التحتية والواحات.
- **استرجاع مساحات من الأراضي المتدهورة** وإعادتها إلى الدورة الإنتاجية.
- **تحقيق وفورات مالية** (كلفة إزالة الرمال حوادث المرور) تُبرر الاستثمار الأولي.

غير أن هذه النجاعة تبقى **نسبية ومتفاوتة** وتتوقف على عدة عوامل: جودة التنفيذ الأولي انتظام الصيانة توفر المياه وحماية الموقع من الرعي الجائر.

2.6 نقاط القوة والضعف في الاستراتيجية المعتمدة

أ) نقاط القوة:

1. **المقاربة المزدوجة:** الجمع بين التثبيت الميكانيكي (الفوري) والبيولوجي (للدائم) يُعتبر خياراً استراتيجياً صائباً.
2. **تفضيل الأصناف المحلية:** أثبتت دراسة (2022) أن الأرطا والأثل والرتم تتفوق على الأصناف الدخيلة (الكالبتوس) من حيث التأقلم والاستدامة.
3. **استعمال الري بالتقطير:** يضمن اقتصاد الماء ونجاح الغرس في الظروف الصحراوية.

ب) نقاط الضعف:

1. **ضعف الصيانة والمتابعة:** هذه هي النقطة الأكثر خطورة إذ أن ترك الحواجز الميكانيكية لتتآكل دون تجديد أو إهمال سقي الشتلات في سنواتها الأولى يُحوّل المشروع إلى "استثمار ضائع".

2. **غياب مقاربة تشاركية حقيقية:** رغم أن بعض السكان المحليين قد تم تشغيلهم في المشاريع (كحراس أو عمال) إلا أنهم لم يُشركوا بشكل فعلي في التخطيط واتخاذ القرار مما يُقلل من شعورهم "بالملكية" وبالتالي بمسؤولية الحماية.
3. **ضعف التنسيق المؤسساتي:** لا يزال التنسيق بين مختلف القطاعات المتدخلة (الغابات الفلاحة الأشغال العمومية الجماعات المحلية) دون المستوى المطلوب مما يُؤدي إلى ازدواجية في بعض التدخلات وفراغ في البعض الآخر.

3.6 إشكالية الصيانة والمتابعة وتأثير الجفاف

تُمثل الصيانة "كعب أخيل" مشاريع التثبيت في الجزائر عموماً والمنيعة خصوصاً. فمعظم هذه المشاريع تموّل من طرف الدولة (عبر صناديق مركزية) وعندما ينتهي التمويل تجد المصالح المحلية (محافظة الغابات) نفسها عاجزة عن توفير الاعتمادات الكافية للصيانة الدورية (تجديد الحواجز إصلاح شبكات الري تعويض النباتات الميتة). ويُضاعف من هذه الإشكالية توالي سنوات الجفاف حيث تزداد احتياجات النباتات للمياه في الوقت الذي تتناقص فيه الموارد المائية المتاحة.

4.6 تحليل مدى نجاح الدمج بين التثبيت الميكانيكي والبيولوجي

أظهرت تجربة مشروع حاسي القارة أن الدمج بين التثبيتين ممكن وفعال شريطة احترام الفترة الزمنية الفاصلة (شهر إلى شهرين) بين المرحلتين. فالتسرع في الغرس قبل أن تستقر الرمال يُعرض الشتلات للطمر بينما التأخر في الغرس بعد تآكل الحواجز الميكانيكية يُعيد الكثيب إلى نقطة البداية.

5.6 أهمية إشراك السكان المحليين

نؤكد بناءً على تحليلنا للمقابلات الميدانية أن إشراك السكان المحليين ليس "ترفاً اجتماعياً" بل هو **شرط تقني واقتصادي لاستدامة المشروع**. فالسكان الذين يستفيدون من المشروع (حماية مزارعهم توفير علف لمواشيهم) هم الأجدر بحمايته والإبلاغ عن أعطابه ونقترح في هذا الصدد:

- **إبرام "عقود الامتياز"** مع الفلاحين المجاورين للمشاريع تُخولهم حق استغلال الموارد النباتية (أعلاف حطب) مقابل التزامهم بحماية الموقع وصيانته.
- **تشجيع إنشاء "جمعيات محلية لحماية الواحة"** تتولى مهام التحسيس والمراقبة والصيانة الخفيفة.

6.6 دور التهيئة العمرانية في تقليل مخاطر زحف الرمال

أخيراً من منظور التهيئة العمرانية نرى أن الحل الأمثل لمشكلة زحف الرمال لا يكمن فقط في "التدخل بعد وقوع الكارثة" (بناء الحواجز بعد أن يصل الكثيب إلى الطريق) بل في **"التدخل الاستباقي"** عبر:

- **تخصـــيص مناطق عازلة** (*Zones tampons*) غير قابلة للبناء في مخططات التهيئة والتعمير (PDAU, POS) على الأطراف المعرضة للرياح تُخصص حصراً للتشجير والتثبيت.
- **إلزامية إدراج دراســة "خطر زحف الرمال"** في ملفات مشــاريع البنى التحتية الكبرى (الطرقات محطات الطاقة) على غرار ما هو معمول به بالنسبة لخطر الفيضانات والزلازل.

خلاصة الفصل الرابع

خلصنا في هذا الفصل من خلال التحليل الكمي والكيفي إلى أن مشاريع تثبيت الكثبان الرملية في ولاية المنيعة قد حققت نتائج إيجابية ملموسة على الصعيد البيئي (استرجاع الغطاء النباتي استقرار التربة) والاقتصادي (حماية الطريق الوطني توفير مالي حماية المستثمرات الفلاحية) والمجالي (تأمين المجال للتوسع العمراني) غير أن هذه النتائج تبقى مهددة بسبب إشكاليتي الصيانة وضعف التنسيق المؤسساتي وتُشكل المقترحات المتعلقة بالتحسينات الجيوتقنية وإدماج السكان ومراجعة أدوات التهيئة العمرانية محاور عمل مستقبلية من شأنها أن تُعزز استدامة هذه المشاريع وتُعمم فائدتها.

خاتمة

خاتمة

خلصت هذه الدراسة التي تناولت ظاهرة زحف الكثبان الرملية في ولاية المنيعة من منظور جغرافي إلى أن المنطقة تُعد من المناطق الصحراوية الحساسة اللي تتأثر بشكل كبير بالعوامل الطبيعية خاصة مع تزايد الضغط البشري خلال السنوات الأخيرة.

وقد بينت النتائج المتوصل إليها من خلال تحليل صور الأقمار الصناعية للفترة الممتدة بين 2000 و2024 أن الكثبان الرملية عرفت توسع واضح حيث ازدادت مساحة الكثبان النشطة بشكل ملحوظ كما واصلَت الرمال تقدمها باتجاه الطريق الوطني رقم 1 وبعض الواحات والمجالات العمرانية القريبة وهذا ما يعكس حجم التهديد الذي تفرضه هذه الظاهرة على المنطقة.

أظهر التحليل الزماني–المكاني لمؤشر NDVI بولاية المنيعة خلال الفترة الممتدة بين 1985 و2005 و2025 تطوراً ملحوظاً في توزيع الغطاء النباتي. وتبين النتائج هيمنة المساحات ذات القيم المنخفضة جداً للمؤشر خلال سنة 2005، مما يعكس سيطرة الأراضي العارية والمجالات ضعيفة التغطية النباتية. وفي سنة 2025 اتجه التوزيع المكاني نحو فئة NDVI المنخفض، مع تراجع واضح لفئة NDVI المنخفض جداً. وتشير هذه التغيرات إلى تحسن نسبي في الغطاء النباتي، دون الوصول إلى مستويات مرتفعة من الكثافة النباتية.

ويتعين تفسير هذه النتائج في ضوء الخصائص البيئية للمجال الصحراوي، والتقلبات المناخية السنوية، إضافة إلى آثار التهيئة والاستغلال الزراعي المحلي المؤثرة في توزيع الغطاء النباتي.

وبصفة عامة، يؤكد مؤشر NDVI فعاليته كأداة مناسبة لرصد ديناميكيات الغطاء النباتي في المناطق الجافة، كما يوفر التحليل متعدد التواريخ قاعدة علمية متينة للاستعمال في الدراسة الكارتوغرافية والإحصائية.

ومن خلال دراسة مشاريع تثبيت الرمال المنجزة في المنيعة تبين أن الاعتماد على التثبيت الميكانيكي مع التثبيت البيولوجي أعطى نتائج مليحة نسبياً في الحد من حركة الرمال والتقليل من تأثيرها على بعض المنشآت والتجهيزات.

وقد بينت النباتات المحلية قدرة معتبرة على التكيف مع الظروف البيئية السائدة والمساهمة في تثبيت التربة وإعادة تشكيل غطاء نباتي يساعد على استقرار الكثبان مع الوقت ورغم هذا فإن استمرار فعالية هذه المشاريع يبقى مرتبط بمدى توفر الصيانة الدورية والمتابعة الميدانية إضافة إلى توفير الإمكانيات المادية والمائية اللازمة.

وفي الأخير سمحت الدراسة بإبراز أن التخطيط المجالي يبقى عنصر أساسي في مواجهة ظاهرة التصحر وزحف الرمال لأن الحلول التقنية وحدها لا تكفي لتعالج المشكلة بشكل نهائي لذلك من الضروري إدماج هذا النوع من المخاطر ضمن سياسات التهيئة والتعمير مع إعطاء دور أكبر للسكان المحليين باعتبارهم طرف مهم في حماية المجال الصحراوي والمحافظة عليه وفي هذا السياق فإن التجارب المنجزة في المنطقة تبين أن الوسط الصحراوي رغم قسوته يبقى قابل للتهيئة والتنمية إذا تم الاعتماد على استغلال عقلاني للموارد المحلية والاستفادة من المعارف العلمية في إنجاز ومتابعة مشاريع التثبيت.

قائمة المراجع

قائمة المصادر والمراجع

أولاً: المراجع باللغة العربية

1. أبو علي، خ. (2022). النباتات الغريبة الغازية.. كيف تهدد البيئة الفلسطينية بالمخاطر؟ *آفاق البيئة والتنمية*. https://www.maan-ctr.org/magazine/article/3488/
2. اغفير، ا. (2023). النباتات الدخيلة في ليبيا... الأضرار والفوائد. *وكالة أنباء المرأة (JINHAGENCY)*. https://jinhaagency.com/ar/albyyt/alnbatat-aldkhylt-fy-lybya-aladrar-walfwayd-36015
3. الأمم المتحدة، منظمة الأغذية والزراعة (FAO)، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة.(2020) . *حالة الغابات في العالم 2020: الغابات والتنوع البيولوجي والسكان*. روما. https://doi.org/10.4060/ca8642ar
4. الأنصاري، ع. ب. م.، والعودات، م. ع.(2015) . *علم المجتمعات النباتية*.) كتاب(.
5. الترهوني، ر. ف.، الأحرش، ز. س.، عاشوراكس، آ. ن.، وخليفة، ي. م. (2025). ورقة مراجعة حول تأثير التغيرات المناخية (درجة الحرارة، الرياح والأمطار) على المناطق الأثرية في ليبيا ودول حوض المتوسط خلال العقود الأخيرة. *مجلة العلوم الزراعية والبيئية والبيطرية، 9*(1)، 19–27. https://www.researchgate.net/publication/390011986
6. الجزائر. (2023). قانون رقم 23–21 مؤرخ في 11 جمادى الثانية عام 1445 الموافق 23 ديسمبر سنة 2023، يتعلق بالغابات والثروات الغابية. *الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية، العدد 83*.
7. الخامرة، ط.(2007) . *المؤسسة البيئية والاجتماعية: مدخل لمساهمة المؤسسة الاقتصادية في تحقيق التنمية المستدامة*.) مذكرة ماجستير، جامعة ورقلة(.
8. الدخالي، س.(2019) . *التنوع الحيوي الطحالب بحيرة قبر عون، فزان/ليبيا*. قسم العلوم العامة، كلية العلوم التقنية والهندسية، براك، قسم علم النبات، كلية العلوم، جامعة سبها. https://www.researchgate.net/publication/351854314
9. رضا، ع. إ. (2018). البيئة: حماية للموارد الطبيعية وتوازن للتنوع الحيوي للمنطقة الجنوبية من العراق. *مجلة الآداب، 1*(119)، 409–428. https://www.researchgate.net/publication/330014939
10. شاوش، م.، دمدوم، ع.، بن عزة، ع.، ونفنوف، ا. ع.(2023) . *دراسة الفاعلية البيولوجية لمستخلصات نبات الزيتة*.) مذكرة ماستر، جامعة الشهيد حمه لخضر–الوادي، كلية علوم الطبيعة والحياة(.
11. عبد الله، إ. (2014). نباتات ضارة تغزو البيئة. *صحيفة الخليج*. https://www.alkhaleej.ae
12. مدور، ع.، وياسين، ح.(2020) . *إدارة مراعي وتنميتها: الجلسة العملية السادسة*. جامعة حماة، كلية الزراعة.
13. المشهداني، ل. م. إ. (2022). أثر الغطاء النباتي في المناخ المحلي في المدينة. *مجلة كلية التربية الأساسية، 15*(60)، 371–390. https://www.researchgate.net/publication/380954688
14. موسى علي، ع. م.، لشهب، س. ر. ح.، وبوعوينة، ع. ع. م. (دون تاريخ). تصنيف الغطاء النباتي وتوزيعه الجغرافي في المنطقة الممتدة ما بين الحنية ووادي الزقزوق شمالاً حتى لسطاطه وبشتايا جنوباً– الجبل الأخضر

شرق ليبيا. قسم الموارد والبيئة، كلية الآداب والعلوم، جامعة بنغازي.
https://www.researchgate.net/publication/339800719

15. نواصر، ع. ر. (2022). الأوضاع الصحية لمدينة المنيعة خلال الفترة الاستعمارية 1873–1939م. *المجلة التاريخية الجزائرية (ASJP)*، 472–482.

ثانياً: المراجع باللغة الأجنبية

1. Aiad, W. (2019). *Étude de la salinisation du sol dans la région de El-Menia (El-Goléa) à Ghardaïa* [Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah – Ouargla, Algérie]. Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.
2. Aichi, I. (2014). *Étude des types biologiques et caractérisation floristique des palmeraies de la région d'El-Goléa* [Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie].
3. Alhlak, O. A. (2023). Inventory and study of some annual plant species in the city of Zintan. *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS), 2*(2), 116-125. https://aajpsjournals.com/index.php/ajapas/index
4. Bagnold, R. A. (1941). *The physics of wind blown sands and desert dunes*. Methuen.
5. Balasubramanian, A. (2012). World climatic zones & groups. https://www.researchgate.net/publication/309464709_World_Climatic_Zones_Groups
6. Ballais, J.-L. (2010). Des oueds mythiques aux rivières artificielles: l'hydrographie du Bas-Sahara Algérien. *Physio-Géo. Géographie physique et environnement, IV*, 107-127.
7. Belaiche, K. (2024). *The Evolution of Agricultural Areas in a Saharan Region by Remote Sensing Techniques*.
8. Bensaâd, A. (2009). *Le Sahara algérien: recompositions territoriales et enjeux de développement*. Éditions Karthala.
9. Bensouiah, R. (2004). Politique forestière et lutte contre la désertification en Algérie: du barrage vert au PNDA. *Forêt Méditerranéenne, XXV*(3), 191-198.
10. Chehma, A. (2006). *Catalogue des plantes spontanées du Sahara septentrional algérien*. (pp. 15, 106-138).
11. Daget, P. (1982). *Les modèles bioclimatiques*. Université de Montpellier.
12. Deddouche, N., & Rahmani, S. (2021). *Inventaire floristique dans la région d'El Goléa (Sebkhet El Maleh)*.
13. DGF (Direction Générale des Forêts). (2004). *Rapport national de l'Algérie sur la mise en œuvre de la convention de lutte contre la désertification*. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
14. Djeha, L., Taibi, L., Benaissa, Z., & Boudouma, M. (1999). *Étude de protection des routes contre l'ensablement*. Rapport de synthèse, Laboratoire d'Études Maritimes.
15. FAO. (1988). *Manuel de fixation des dunes* (Cahier FAO conservation n° 18). Rome.
16. FAO. (2011). *Gestion des plantations sur dunes* (Document de travail sur les Forêts et la Foresterie en zone aride n° 3).
17. Fenazi, B., Boucenna, F., & Zeddouri, A. (2022). Geochemical and isotopic study of phreatic aquifer in an arid area, case study of El Goléa region (Algerian Sahara). *Boletín Geológico y Minero, 133*(2), 45-63.

18. HCDS (Haut Commissariat au Développement de la Steppe). (2005). *Rapport d'activités sur la lutte contre la désertification*. Alger.
19. Hirche, A., et al. (2019). *Is the NDVI really relevant in arid areas? The case of Algerian arid zones*. Proceedings of the International Symposium on Geoecology and Desertification.
20. INRF (Institut National de Recherche Forestière). (2018). *Rapport technique sur les techniques de fixation des dunes en zones arides*. Alger.
21. Kardous, M. (2005). *Quantification du transport éolien et techniques de lutte contre l'ensablement*. Éditions des Régions Arides.
22. Khatteli, H., & Akrimi, N. (1997). Mise au point d'une méthode de fixation mécanique des dunes mobiles dans une zone pré-saharienne du sud tunisien. *Medit, 1*, 14-19.
23. Mainguet, M. (1991). *Desertification: Natural background and human mismanagement*. Springer.
24. Mainguet, M., & Dumay, F. (2006). *Combattre l'érosion éolienne: un volet de la lutte contre la désertification* (Les dossiers thématiques du CSFD, n° 3). Agropolis.
25. Makhlouf, L., Nedjahi, A., Abdellaoui, M., & Benarar, M. (2012). *Protection des périmètres agricoles dans les régions arides et semi-arides*. INRF.
26. Meddour, R. (2013). *Bioclimatologie et étages de végétation en Algérie*. Université de Tizi Ouzou.
27. NASA Langley Research Center. (2023). *POWER Project Data Methodology*. https://power.larc.nasa.gov/
28. Nedjraoui, D., & Bédrani, S. (2008). La désertification dans les steppes algériennes: causes, impacts et actions de lutte. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, 8*(1).
29. Oulhadj, I. (2015). *Protection et mise en valeur intégrée dans les parcours sahariens dans la région de Gourara (Wilaya d'Adrar)* [Thèse de Master en Foresterie].
30. Ozenda, P. (2001). *Flore de l'Afrique du Sahara* (3e éd.). CNRS Éditions.
31. Sebaa, A.-K., Berroussi, S., Bouhanna, M., Boulghobra, N., Hadri, T., Koull, N., Kherraze, M.-E., & Benzaoui, T. (2015). *Guide des techniques de lutte contre l'ensablement au Sahara Algérien*. CRSTRA.
32. Stewart, P. (1969). Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, 24-25.
33. Tolba, K. (1994). Stabilisation et reboisement des formations éoliennes à El Mesrane (Djelfa). *Actes du Symposium Wind Erosion in West Africa*, 191-207.
34. UNCCD. (1994). *United Nations Convention to Combat Desertification in those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa*. United Nations.
35. Vélez, S. (2023). *Beyond Vegetation: A Review Unveiling Additional Insights from NDVI Applications*. Wageningen University.
36. WMO. (2021). *Climatological Normals 1991-2020: El Goléa Station (60590)*. World Meteorological Organization.
37. Yu, L. et al. (2024). *Identification and Monitoring of Irrigated Areas in Arid Regions Using Sentinel Imagery*. Agriculture.

ثالثاً: المصادر الإلكترونية والبيانات المناخية

1. Caudullo, G., Welk, E., & San-Miguel-Ayanz, J. (2017). Chorological maps for the main European woody species. *Data in Brief, 12*, 662-666.
2. Japan Meteorological Agency (JMA) / Tokyo Climate Center. (2025). *Monthly climatic data for El-Goléa station (60590)*.
3. JMA/WMO. (2025). *Monthly weather data summary: El Goléa, Algeria, 2025*. Global Surface Summary of the Day (GSOD).
4. ONM El-Goléa. (2024). *Données climatiques mensuelles de la station météorologique d'El-Goléa*. Office National de la Météorologie.
5. Références électroniques:
6. Botanical Museum, Helsinki. (2018). Données botaniques provenant de BGBM, Berlin-Dahlem, Allemagne.
    - Euro+Med PlantBase. (2018). Distribution map for taxon 450795.
    - Linnaeus, C. (1753). *Species Plantarum*, 270.
    - Roth, A. W. (1788). *Tentamen Florae Germanicae*, 1, 34.

.

الملاحق

الملاحق

الملحق رقم 01: تسييج بالأشجار لمقاومة للحركة الرمال

من إعداد الطالبة، ماي 2026

الملحق رقم 02: التسييج بسعف النخيل

من إعداد الطالبة، ماي 2026

الملحق رقم 03: التسييج بسعف النخيل

من إعداد الطالبة، ماي 2026

الملحق رقم 04: التسييج بسعف النخيل

من إعداد الطالبة، ماي 2026

الملحق رقم 05: فعالية التسييج بسعف النخيل

من إعداد الطالبة، ماي 2026