الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Abou Bekr Belkaid
Tlemcen Algérie

جامعة أبي بكر بلقايد
تلمسان الجزائر

كلية العلوم الاقتصادية التجارية وعلوم التسيير

أطروحة مقدمة لنيل شهادة الدكتوراه

في شعبة: العلوم الاقتصادية

تخصص: تحليل اقتصادي و استشراف

محددات التحول الطاقوي في الجزائر

من إعداد الطالب: خرواع خيرالدين

تحت إشراف: أ.د خواني ليلى

أعضاء لجنة المناقشة:

أ.د. شعيب بونوة	أستاذ التعليم العالي	جامعة تلمسان	رئيسًا
أ.د. خواني ليلى	أستاذ التعليم العالي	جامعة تلمسان	مشرفًا
أ.د. آيت حبوش ميهوب وهيبة	أستاذ التعليم العالي	جامعة وهران 2	ممتحنًا
د. عبد الرحمن جوهر	أستاذ محاضر أ	جامعة وهران 2	ممتحنًا
أ.د. شعيب بغداد	أستاذ التعليم العالي	جامعة تلمسان	ممتحنًا
أ.د. بوزيدي سعاد	أستاذ التعليم العالي	جامعة تلمسان	ممتحنًا

السنة الجامعية: 2026/2025

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

﴿ فَتَعَٰلَى ٱللَّهُ ٱلْمَلِكُ ٱلْحَقُّ ۗ وَلَا تَعْجَلْ بِٱلْقُرْءَانِ مِن قَبْلِ أَن يُقْضَىٰٓ إِلَيْكَ وَحْيُهُۥ ۖ وَقُل رَّبِّ زِدْنِى عِلْمًا ﴿١١٤﴾ ﴾ صَدَقَ ٱللَّهُ ٱلْعَظِيمْ (سورة طه)

التشكرات

أشكر الله العلي القدير على إتمام هذا العمل.

كما أتقدم بالشكر والتقدير إلى الأستاذة الفاضلة المشرفة على هذه الأطروحة أ.د خواني ليلى على تفضلها بالإشراف على هذا العمل وكل ما قدمته لي من إرشادات وتوجيهات قيمة طوال فترة إشرافها حتى يخرج هذا العمل في صورته النهائية.

كما أتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الأساتذة الأجلاء أعضاء اللجنة المناقشة على تفضلهم بقبول مناقشة وتقييم هذه الأطروحة.

كما لا يفوتني أن أتقدم بتشكراتي الخالصة إلى الأستاذ عياد هشام، الأستاد زايري بلقاسم و الأستاذ إبراهيم برقوقي، وإلى الدكتورة عامر بن بكريت كوثر، الدكتورة شراك إيمان صليحة و الدكتورة مسعود فاطمة الزهراء وكل أساتذتي الأفاضل وكل من قدم لي يد المساعدة أو أسدى لي نصيحة أو كلمة تشجيع أو كلمة طيبة.

إلى كل من أعانني من قريب أو بعيد لإعداد هذه الأطروحة.

الإهداء

أهدي ثمرة هذا الجهد المتواضع إلى:

أمي حفظها الله وأطال في عمرهما...

وأبي رحمه الله وأسكنه الفردوس الأعلى...

الأختين رعاهما الله وحفظهما في الدنيا والآخرة...

إلى كل الأهل والأصدقاء جميعاً...

لكل هؤلاء أهدي هذا العمل بنية صادقة ودعوى خالصة.

فهرس

المحتويات

المحتويات	الصفحة
آيات قرآنية	-
التشكرات	-
الإهداء	-
فهرس المحتويات	I
فهرس الجداول	VI
فهرس الأشكال	XI
المقدمة العامة	أ
الفصل الأول: الإطار النظري للتحول الطاقوي	1
المبحث الأول: مفاهيم أساسية	2
المطلب الأول: مفهوم الطاقة ومصادرها	2
المطلب الثاني: الطاقات التقليدية	5
المطلب الثالث: الطاقات المتجددة	17
المبحث الثاني: التحول الطاقوي	27
المطلب الأول: تعريف التحول الطاقوي	27
المطلب الثاني: دوافع التحول نحو الطاقات المتجددة	27
المطلب الثالث: تحديات التحول الطاقوي	34
المبحث الثالث: الأطر النظرية للتحول الطاقوي	36
المطلب الأول: نظرية أمن الطاقة	36
المطلب الثاني: نظرية التنمية المستدامة	37

المطلب الثالث: نظرية الابتكار التكنولوجي	38
المطلب الرابع: نظرية التحول الاجتماعي–التقني	39
الفصل الثاني: واقع وآفاق التحول الطاقوي في الجزائر	41
المبحث الأول: وضع قطاع الطاقة في الجزائر	42
المطلب الأول: الطاقات التقليدية في الجزائر	43
المطلب الثاني: إمكانيات الطاقة المتجددة في الجزائر	44
المطلب الثالث: آفاق مشاريع الطاقة المتجددة في الجزائر	48
المبحث الثاني: سياسات واستراتيجيات التحول الطاقوي في الجزائر	50
المبحث الثالث: تحديات التحول الطاقوي في الجزائر	51
المطلب الأول: الاطار التشريعي	51
المطلب الثاني: الاستراتيجيات الوطنية	53
المطلب الثالث: برامج الاستثمار	54
الفصل الثالث: الدراسة القياسية لمحددات التحول الطاقوي	63
المبحث الأول: الإجراءات المنهجية	65
المطلب الأول: التعريف بمتغيرات الدراسة	65
المطلب الثاني: النموذج التجريبي	71
المطلب الثالث: نموذج اختبار السببية (CWT)	77
المبحث الثاني: عرض النتائج الإحصائية	79
المطلب الأول: الإحصاء الوصفي والتحليل الأولي	79
المطلب الثاني: اختبار عدم الخطية	82

المطلب الثالث: اختبارات الاستقرارية (QPP & QADF)	84
المبحث الثالث: تحليل ومناقشة النتائج	88
المطلب الأول: نتائج نموذج الانحدار متعدد المتغيرات (M-QQR)	89
المطلب الثاني: نتائج نموذج الانحدار الكمي المويجي (WQR)	102
المطلب الثالث: نتائج السببية للتحويل الموجي المستمر (CWT)	111
المطلب الرابع: مناقشة النتائج في إطار فروضها	115
الخاتمة العامة	120
قائمة المراجع	124
الملخص	150

فهرس

الجداول

رقم الجدول	العنوان	الصفحة
01	التركيبة الكيميائية للنفط	5
02	أنواع الفحم وخصائصه	14
03	أنواع الفحم ومظاهره	15
04	إمكانيات الجزائر من الطاقة الشمسية، ومعدل توزيعها عبر التراب الوطني	42
05	مصادر البيانات وتعريف متغيرات الدراسة	68
06	الإحصاء الوصفي لمتغيرات الدراسة	76
07	اختبار عدم الخطية (اختبار **BDS**)	80
08	نتائج اختبار (**QADF**) لاستقرارية السلاسل الزمنية	83
09	نتائج اختبار (**QPP**) لاستقرارية السلاسل الزمنية	84

فهرس

الأشكال

رقم الشكل	العنوان	الصفحة
01	الاستهلاك العالمي للطاقات حسب المصدر	19
02	الإنتاج العالمي للطاقة من المصادر المتجددة	21
03	استهلاك الطاقات المتجددة حسب المصدر	22
04	الزيادة السريعة في استهلاك الطاقة الشمسية والرياح على النطاق العالمي	23
05	أهمية التوجه نحو الطاقات المتجددة	33
06	تطور استهلاك الطاقة الأولية حسب المصدر في الجزائر (1965–2024)	41
07	خريطة الجزائر لمتوسط الإشعاع الشمسي المباشر السنوي	43
08	خريطة الجزائر لمتوسط الرياح السنوية على ارتفاع 50 مترًا (2001–2010)	44
09	مقارنة تكلفة الهيدروجين المسلم إلى ألمانيا من مختلف البلدان، أفق 2040	47
10	خريطة محطات توليد الطاقة الشمسية الضوئية والهوائية	48
11	أعمدة الإحصاء الوصفي لمتغيرات الدراسة	77
12	الخريطة الحرارية لمصفوفة الارتباط	78
13	اختبار جذر الوحدة الكمي QADF	81
14	اختبار جذر الوحدة الكمي QADF لكل متغير على حدى	82
15	نتائج اختبار (QPP) لاستقرارية السلاسل الزمنية	84
16	نتائج اختبار (QPP) لاستقرارية السلاسل الزمنية لكل متغير على حدا	85
17	منحنى نموذج الانحدار المتعدد (M–QQR) للابتكار الأخضر	86
18	منحنى نموذج الانحدار المتعدد (M–QQR) للتطوير المالي	88
19	منحنى نموذج الانحدار المتعدد (M–QQR) للاستثمار الأجنبي المباشر	90

20	منحنى نموذج الانحدار المتعدد (M-QQR) للانفتاح التجاري	93
21	منحنى نموذج الانحدار المتعدد (M-QQR) للجودة المؤسساتية	95
22	منحنى نموذج الانحدار المتعدد (M-QQR) للنمو الاقتصادي	97
23	منحنى نموذج الانحدار المتعدد (M-QQR) للحرية الاقتصادية	99
24	الخرائط الحرارية لنموذج الانحدار الكمي المويجي (WQR)	101
25	مخطط السببية باستخدام تحويل المويجات (CWT) للابتكار الأخضر	106
26	مخطط السببية باستخدام تحويل المويجات (CWT) للتطوير المالي	108
27	مخطط السببية باستخدام تحويل المويجات (CWT) للجودة المؤسساتية	109
28	مخطط السببية باستخدام تحويل المويجات (CWT) للانفتاح التجاري	110
29	مخطط السببية باستخدام تحويل المويجات (CWT) للاستثمار الأجنبي المباشر	111
30	مخطط السببية باستخدام تحويل المويجات (CWT) للحرية الاقتصادية	112
31	مخطط السببية باستخدام تحويل المويجات (CWT) للنمو الاقتصادي	113

المقدمة العامة

شهد العالم خلال العقود الأخيرة تحولات عميقة في مجال الطاقة، حيث أصبح التحول نحو مصادر الطاقة المستدامة ضرورة هيكلية واستراتيجية استجابة لتسارع تغير المناخ وارتفاع انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، خاصة ثاني أكسيد الكربون. ويُعد قطاع الطاقة المساهم الأكبر في هذه الانبعاثات، مما جعل التحول الطاقوي محوراً أساسياً ضمن سياسات التخفيف من آثار التغير المناخي، وتعزيز تحقيق أهداف التنمية المستدامة، لا سيما الهدف السابع المتعلق بالطاقة النظيفة، والهدف الثالث عشر المتعلق بالعمل المناخي.

في هذا السياق، تُظهر الأدبيات الاقتصادية أن الضغوط البيئية المتزايدة تدفع نحو تحولات هيكلية في أنظمة الطاقة، بحيث لم يعد الانتقال إلى الطاقات المستدامة خياراً سياسياً ثانوياً، بل أصبح ضرورة اقتصادية وتكيّفاً مؤسسياً ولا يقتصر هذا التحول على الجانب التكنولوجي فقط، بل يمتد ليشمل أبعاداً حضرية ومؤسسية. إذ تلعب المدن دوراً محورياً في استهلاك الطاقة والانبعاثات، حيث تستهلك ما يقارب ثلاثة أرباع الطاقة العالمية، بينما تمثل المباني وحدها حوالي 36–40٪ من الاستهلاك العالمي. وتشير الدراسات إلى أن تحسين كفاءة الطاقة يمكن أن يخفض هذا الاستهلاك بأكثر من النصف عند تطبيقه بشكل متكامل. كما أن إدماج تقنيات مثل الشبكات الذكية والطاقة المتجددة الموزعة يعزز الكفاءة، إلا أن فعالية هذه التقنيات تبقى مشروطة بوجود أطر مؤسسية وحوكمية.

علاوة على ذلك، تُبرز التحولات في قطاعات النقل والبنية التحتية والرقمنة الطابع المتعدد الأبعاد لعملية إزالة الكربون، حيث يساهم الابتكار الرقمي والذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة الطاقة وتعزيز تكامل الطاقات المتجددة، بشرط توفر بيئة تنظيمية وأسواق مناسبة. وقد انعكس هذا التعقيد في تطور الأطر النظرية للتحول الطاقوي، حيث انتقلت الدراسات من مقاربات أحادية البعد إلى أطر تكاملية ترى التحول كعملية مشتركة بين التكنولوجيا، الأسواق، وترتيبات الحوكمة. كما تؤكد هذه الأطر أن التحول الطاقوي يتميز بطبيعته غير الخطية والتدريجية، ويتأثر بعوامل مثل الجمود المؤسسي واعتماد المسار. وتشير الأدبيات الحديثة إلى أن مسارات التحول الطاقوي تتشكل من خلال التفاعل بين عدة محددات، تشمل الضغوط البيئية، التقدم التكنولوجي، الأطر المؤسسية، والظروف المالية، والتي تؤثر مجتمعة على سرعة واتجاه التحول. بناءً على ذلك، يمكن النظر إلى التحول الطاقوي كعملية هيكلية معقدة ومتعددة الأبعاد، تتداخل فيها العوامل الاقتصادية، التكنولوجية، المؤسسية، والمالية، وتختلف ديناميكياتها باختلاف السياقات الوطنية، خاصة في الاقتصادات المعتمدة على الموارد الطبيعية.

و في السياق الجزائري، تعتمد الجزائر بشكل كبير على قطاع المحروقات، وخاصة الغاز الطبيعي، مما يجعل الاقتصاد الوطني عرضة لتقلبات أسعار النفط في الأسواق العالمية. وعلى الرغم من الإمكانات الواعدة التي تمتلكها البلاد في مجال الطاقات المتجددة، لا سيما الطاقة الشمسية والرياح، إضافة إلى الالتزامات الرسمية في مجال العمل المناخي، إلا أن الفجوة بين الطموحات الاستراتيجية والواقع الميداني لنشر الطاقة النظيفة لا تزال قائمة، وهو ما يعكس وجود تحديات اقتصادية، مؤسسية، وحوكمية معقدة.

وقد شهدت الدراسات المتعلقة بالتحول الطاقوي والاستدامة البيئية في الجزائر تطوراً ملحوظاً، حيث ركزت الدراسات المبكرة على تحليل العلاقة بين استهلاك الطاقة والنمو الاقتصادي والانبعاثات باستخدام نماذج خطية أو نماذجARDL ، مع اعتماد انبعاثات ثاني أكسيد الكربون كمؤشر رئيسي للتدهور البيئي. ومع تطور المقاربات المنهجية، اتجهت الدراسات الحديثة نحو استخدام نماذج

غير خطية مثل (NARDL) لتحليل الآثار غير المتماثلة للتحول الطاقوي والتكنولوجيا الخضراء. ورغم هذا التقدم، فإن معظم هذه الدراسات ظلت تركز على النتائج البيئية، دون التوسع في تحليل محددات التحول الطاقوي في إطار متكامل يجمع بين الأبعاد الاقتصادية، المالية، والمؤسسية والتكنولوجية.

إشكالية الدراسة

في ضوء ما سبق، تتمحور إشكالية الدراسة حول السؤال الرئيسي التالي:

كيف تؤثر المحددات الاقتصادية، المالية، المؤسسية، والتكنولوجية في تسريع أو إعاقة التحول نحو الطاقة المتجددة في الجزائر، وكيف تختلف هذه التأثيرات عبر مستويات التحول والفترات الزمنية المختلفة؟

الأسئلة الفرعية

وللإجابة على هذه الإشكالية، تسعى الدراسة إلى معالجة مجموعة من الأسئلة الفرعية، تتمثل فيما يلي:

- إلى أي مدى تؤثر العوامل الاقتصادية الكلية والمالية، مثل النمو الاقتصادي، الاستثمار الأجنبي المباشر، التنمية المالية، وانفتاح التجارة، على مسار التحول الطاقوي في الجزائر؟
- ما الدور الذي تلعبه جودة المؤسسات والتشريعات في دعم أو إعاقة تبني الطاقة المتجددة؟
- هل تساهم التقنيات الخضراء بشكل فعّال في تعزيز التحول الطاقوي المستدام؟
- كيف تختلف تأثيرات هذه المحددات باختلاف مستويات التحول والفترات الزمنية؟

الفرضيات

ولمعالجة الإشكالية السابقة قمنا بوضع الفرضيات التالية:

1. توجد علاقة تفاعلية بين العوامل الاقتصادية الكلية والمالية ومستوى التحول نحو الطاقة المتجددة في الجزائر .
2. تساهم الجودة المؤسسية والتكنولوجيا الخضراء بشكل إيجابي في تسريع التحول الطاقوي في الجزائر .
3. تختلف تأثيرات المحددات الاقتصادية، المؤسسية، والتكنولوجية على التحول الطاقوي باختلاف مستويات التحول والفترات الزمنية، بما يعكس طبيعتها غير الخطية .

أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف المترابطة، تتمثل فيما يلي:

- تحليل أثر العوامل الاقتصادية والمالية على التحول الطاقوي في الجزائر، بهدف فهم دورها في دعم الانتقال نحو اقتصاد طاقوي أكثر تنوعاً واستدامة .

- دراسة مساهمة الجودة المؤسسية والتكنولوجيا الخضراء في تطوير قطاع الطاقة المتجددة وتعزيز الانتقال نحو اقتصاد منخفض الكربون .
- تحديد كيفية اختلاف تأثير محددات التحول الطاقوي عبر مستويات التحول والفترات الزمنية، بما يساعد في تقديم مؤشرات دقيقة لدعم السياسات الطاقوية الوطنية .

أهمية الدراسة

تكمن أهمية هذه الدراسة في كونها تقدم تحليلاً متكاملاً لمحددات التحول الطاقوي في الجزائر من خلال دمج الأبعاد الاقتصادية، المالية، المؤسسية، والتكنولوجية ضمن إطار تحليلي موحد. كما تسهم في توظيف منهجية ديناميكية متقدمة تتجاوز النماذج التقليدية، من خلال مراعاة التباين الزمني واختلاف مستويات التحول. ومن جهة أخرى، تساعد نتائج الدراسة في دعم صانعي القرار عبر تقديم مؤشرات علمية دقيقة تسهم في صياغة سياسات طاقوية أكثر فعالية، بما يتماشى مع التزامات الجزائر في مجال التنمية المستدامة. إضافة إلى ذلك، تساهم الدراسة في سد فجوة بحثية قائمة في السياق الجزائري من خلال تقديم نموذج تحليلي شامل يراعي الخصوصيات الهيكلية للاقتصاد الوطني.

منهجية الدراسة

تعتمد هذه الدراسة على منهج كمي تحليلي قائم على نمذجة ديناميكية متعددة الأبعاد، وذلك بهدف رصد وتحليل التفاعلات المعقدة بين محددات التحول الطاقوي. ويعود اختيار هذا المنهج إلى قدرته على الكشف عن العلاقات غير الخطية والتباين في تأثير المتغيرات عبر الزمن ومستويات التحول، بما ينسجم مع طبيعة الاقتصاد الجزائري الذي يتميز بتقلبات هيكلية واعتماد قوي على قطاع المحروقات. كما يتيح توظيف نماذج متقدمة مثل (M-QQR) و (WQR)و (CWT)فهماً أعمق للديناميكيات الزمنية والتوزيعية التي لا يمكن للنماذج التقليدية التقاطها.

المفاهيم الإجرائية للدراسة

تتحدد المفاهيم الإجرائية للدراسة في ضوء إشكاليتها وأهدافها، كما يلي:

- **التحول الطاقوي** :يشير إلى الانتقال التدريجي في الجزائر من الاعتماد على الوقود الأحفوري (النفط والغاز الطبيعي) إلى مصادر الطاقة المتجددة، خاصة في مجال توليد الكهرباء .
- **الطاقة المتجددة** :هي مصادر الطاقة القابلة للتجدد المستخدمة في الجزائر، مثل الطاقة الشمسية والرياح والطاقة المائية .
- **التكنولوجيا الخضراء** :تمثل الابتكارات والتقنيات المستخدمة للحد من الانبعاثات وتحسين الكفاءة الطاقوية، مثل تقنيات الطاقة الشمسية والشبكات الذكية .
- **التنمية المالية** :تعكس قدرة النظام المالي الجزائري على تمويل مشاريع الطاقة المتجددة والتكنولوجيا الخضراء، من خلال مؤشرات مثل القروض والاستثمار الأجنبي المباشر .
- **جودة المؤسسات** :تشير إلى كفاءة وفعالية المؤسسات الحكومية في دعم سياسات التحول الطاقوي، بما في ذلك الحوكمة والإطار القانوني والتنظيمي .

- **العوامل الاقتصادية والمالية** :تُقاس من خلال مجموعة من المؤشرات مثل الناتج المحلي الإجمالي، الاستثمار الأجنبي المباشر، والانفتاح التجاري .

حدود الدراسة

- **الحدود المكانية** :تقتصر الدراسة على الجزائر، باعتبارها اقتصاداً ريعياً يعتمد بشكل كبير على قطاع المحروقات، مع توفر إمكانات معتبرة في مجال الطاقات المتجددة .
- **الحدود الزمنية** :تغطي الدراسة الفترة الممتدة من 1990 إلى 2023، وهي فترة شهدت تحولات اقتصادية وسياسية مهمة، إضافة إلى تطور سياسات وبرامج الطاقة المتجددة في الجزائر، مما يسمح بتحليل ديناميكيات التحول الطاقوي بشكل أكثر شمولاً.

الدراسات السابقة وفجوة البحث

شهدت الدراسات المتعلقة بالتحول الطاقوي والاستدامة البيئية في الجزائر تطوراً ملحوظاً نحو استخدام نماذج تجريبية أكثر تقدماً ومؤشرات استدامة أوسع نطاقاً. فقد ركزت الدراسات المبكرة على تحليل العلاقة بين استهلاك الطاقة، النمو الاقتصادي، والانبعاثات باستخدام نماذج خطية أو نماذجARDL ، مع اعتماد انبعاثات ثاني أكسيد الكربون كمؤشر رئيسي للتدهور البيئيBouznit) ، 2022 .(وقد قدمت هذه الدراسات فهماً أولياً للمحددات الاقتصادية الكلية للضغط البيئي، إلا أنها ظلت قائمة على علاقات متماثلة ومتوسطية، مما قد يحجب الديناميات غير الخطية الكامنة في الاقتصاد الجزائري.

في هذا السياق، استخدم بيرغوغي (2024) نموذج التوزيع المتأخر التلقائي غير الخطي (NARDL) لدراسة الآثار غير المتماثلة لكل من الوقود الأحفوري، الطاقة المتجددة، والابتكار التكنولوجي على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الجزائر. وقد أظهر هذا النهج أن الصدمات الإيجابية والسلبية لا تؤثر بنفس الطريقة، وهو ما يعكس أهمية مراعاة عدم التماثل في اقتصاد يتميز بتقلبات أسعار النفط والانقطاعات الهيكلية, .كما وسّع بيرغوغي وميزان (2025) هذا التوجه من خلال توظيف محاكاة ARDL الديناميكية وتقنيات التعلم الآلي، بهدف تحليل تأثير التحول نحو الطاقة الخضراء، الابتكار التكنولوجي، والموارد الطبيعية على عامل سعة الحمل في الجزائر. وقد ساهمت هذه الدراسة في تعزيز فهم الطبيعة غير الخطية للعلاقات الاقتصادية والبيئية، إلا أنها بقيت موجهة أساساً نحو النتائج البيئية.

من جهة أخرى، قام بيرغوغي (2024) وبيرغوغي والدوسري (2024) بتوسيع نطاق التحليل من خلال اعتماد البصمة البيئية (EF)كمؤشر متعدد الأبعاد، يأخذ بعين الاعتبار استخدام الموارد والضغط البيئي. وقد كشفت نتائجهم، باستخدام نماذج NARDL، عن آثار غير متماثلة للتكنولوجيا الخضراء، النمو الاقتصادي، واستهلاك الطاقة على الأداء البيئي، مما يبرز الدور المعقد للابتكار في التخفيف من التدهور البيئي، مقابل استمرار تأثير العوامل التقليدية في زيادته .وفي إطار تطوير المنهجيات، استخدم بيرغوغي (2024) أيضاً نموذج Fourier ARDL لدراسة التفاعل بين التكنولوجيا الخضراء والتنمية المالية والبصمة البيئية، حيث أتاح هذا النموذج التقاط الانقطاعات الهيكلية والتغيرات التدريجية. وقد أظهرت النتائج أن التنمية المالية قد تسهم في تفاقم التدهور البيئي في غياب سياسات داعمة، بينما تلعب التكنولوجيا الخضراء دوراً مخففاً لهذا الأثر.

فجوة البحث

على الرغم من هذه المساهمات، لا تزال هناك عدة فجوات في السياق الجزائري، حيث تظل الدراسات الحالية مجزأة بين الجوانب البيئية أو الاقتصادية دون دمج شامل لمحددات التحول الطاقوي. كما أن التحليل الديناميكي الذي يأخذ بعين الاعتبار التباين عبر مستويات التحول والفترات الزمنية لا يزال محدوداً، خاصة باستخدام نماذج متقدمة قادرة على التقاط العلاقات غير الخطية والتوزيعية. وعليه، تسعى هذه الدراسة إلى سد هذه الفجوة من خلال تطوير نموذج تحليلي متكامل يجمع بين العوامل الاقتصادية، المالية، المؤسسية، والتكنولوجية، مع اعتماد منهجية ديناميكية متقدمة تأخذ بعين الاعتبار التباين الزمني وغير الخطي في تحليل محددات التحول الطاقوي في الجزائر.

خطة البحث

تتمحور هذه الدراسة حول ثلاثة فصول رئيسية، تم تصميمها لضمان انتقال منهجي وسلس من التأسيس النظري إلى التحليل التطبيقي المعمق:

الفصل الأول: الإطار النظري للتحول الطاقوي

يضع هذا الفصل اللبنة الأولى للدراسة عبر استعراض المفاهيم الجوهرية المرتبطة بالطاقة، مع عقد مقارنة تحليلية بين الطاقات التقليدية ونظيرتها المتجددة. كما يسلط الضوء على ماهية التحول الطاقوي، مستعرضاً دوافعه وأبرز التحديات التي تكتنفه. ولإعطاء الدراسة عمقاً فكرياً، يتم استعراض الأطر النظرية المفسرة لهذا التحول، بما في ذلك نظريات أمن الطاقة، والتنمية المستدامة، والابتكار التكنولوجي، وصولاً إلى منظور التحول الاجتماعي–التقني.

الفصل الثاني: واقع وآفاق التحول الطاقوي في الجزائر

ينتقل البحث في فصله الثاني إلى دراسة الحالة الجزائرية، حيث يحلل الوضع الراهن لقطاع الطاقة بشقيه التقليدي والمتجدد. ويبرز هذا الفصل الإمكانيات الواعدة التي تزخر بها الجزائر في مجال الطاقات النظيفة، لا سيما الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. كما يتناول بالنقاش الاستراتيجيات والسياسات الوطنية المتبعة، مع تشخيص دقيق للعقبات الاقتصادية، والتقنية، والمؤسساتية التي تقف حائلاً دون تسريع وتيرة هذا التحول.

الفصل الثالث: الدراسة القياسية لمحددات التحول الطاقوي

يُكرس الفصل الثالث للجانب التطبيقي، حيث يسعى لنمذجة محددات التحول الطاقوي في الجزائر قياسياً. وتعتمد الدراسة هنا منهجية إحصائية متقدمة تستخدم أدوات حديثة مثل انحدار الكميات متعدد المتغيرات (M-QQR)، والانحدار المويجي الكمي (WQR)، وتحليل السببية باستخدام تحويل الموجة المستمر(WCT) . وتكمن الغاية من توظيف هذه الأدوات المتطورة في قدرتها العالية على رصد العلاقات غير الخطية، وتحديد التباينات الدقيقة عبر مختلف مستويات التحول والفترات الزمنية المتباينة.

ويختتم الفصل بإجراء الاختبارات القياسية اللازمة لضمان دقة النتائج، متبوعاً بتحليل شامل وتفسير دقيق للمخرجات في ضوء فرضيات الدراسة المطروحة.

الفصل الأول

الإطار النظري

للتحول الطاقوي

تمهيد

يُعد قطاع الطاقة المحرك الأساسي للاقتصاد العالمي والركيزة التي قامت عليها الحضارة الحديثة؛ فمنذ الثورة الصناعية، ارتبط مفهوم التنمية بشكل وثيق بمدى القدرة على تأمين مصادر الطاقة واستغلالها .ومع ذلك، يواجه العالم اليوم تحديات مزدوجة تتمثل في نضوب الموارد التقليدية من جهة، والآثار البيئية المتفاقمة الناتجة عن الانبعاثات الكربونية من جهة أخرى، مما جعل من إعادة النظر في المنظومات الطاقوية العالمية ضرورة حتمية تفرضها متطلبات الاستدامة.

يأتي هذا الفصل ليضع الإطار المفاهيمي والنظري العام للدراسة، حيث يسعى في مبحثه الأول إلى فك الاشتباك بين المصطلحات الأساسية، مع التمييز الدقيق بين الطاقات التقليدية والمتجددة من حيث الخصائص والماهية والدور الإستراتيجي لكل منهما .ثم ننتقل في المبحث الثاني للغوص في مفهوم "التحول الطاقوي" كظاهرة عالمية، ليس فقط كعملية استبدال لمصادر الطاقة، بل كتحول بنيوي شامل تدفعه ضرورات اقتصادية، وبيئية، وتكنولوجية، وتجابهه عقبات وتحديات هيكلية تشترك فيها معظم الدول.

وأخيراً، يستعرض الفصل الأطر النظرية التي حاولت تفسير هذا التحول وتأطيره من منظور علمي؛ بدءاً من نظرية أمن الطاقة التي تركز على استمرارية الإمدادات، وصولاً إلى نظرية التحول الاجتماعي–التقني التي تنظر إلى الطاقة كمنظومة متكاملة تتفاعل فيها التكنولوجيا مع السياسات والمجتمع .وبذلك، يشكل هذا الفصل القاعدة المعرفية والمنطلق النظري الضروري الذي سيسمح لنا لاحقاً بفهم وتحليل آليات التحول الطاقوي وتطبيقاته.

المبحث الأول: مفاهيم أساسية

المطلب الأول: مفهوم الطاقة ومصادرها

1. مفهوم الطاقة

تعتبر الطاقة مفهوم أساسي في مختلف نشاطات الكون، فهي الترجمة لكلمة Energyبالانجليزية أو Energos باللغة اليونانية القديمة، فالطاقة هي المفهوم الأساسي الذي يقوم عليه العديد من المفاهيم على أنها القدرة على أداء العمل، والتي يمكن أن تتجلى في أشكال عديدة مثل الكيميائية، الميكانيكية، الكهربائية، الحرارية والتكنولوجية، ووفقًا لمعادلة أينشتاين $E = mc^2$، فإن الطاقة والمادة متداخلتان، مما يؤكد الطبيعة الديناميكية للطاقة في الكون(McKee & McKee, 2023)، فمثلا في الأنظمة البيولوجية، تعتبر الطاقة ضرورية لاستمرار الحياة. حيث تعمل الخلايا الحية كمصانع كيميائية تحدث فيها آلاف التفاعلات التي ينطوي كل منها على تحولات في الطاقة، حيث يعمل الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) كعملة عالمية للطاقة، مما يسهل النقل الفوري للطاقة داخل الخلايا)(Goodenough et al., 2022, p. 189).

يمكن تصنيف الطاقة إلى أنواع مختلفة حسب مصادرها وأشكالها، ولكل صنف منها خصائص مميزة نوعيامن حيث طبيعة الحصول عليها وكميا من خلال المقدار المتحصل عليه، وكذا الآثار المترتبة على الاستخدام،بحيث يمكن تقسيم الطاقة إلى ثلاثة الفئات أساسية كالتالي (Papin et al., 2022, p. 94) و (Abdollahi et al., 2019, p. 343) :

2. مصادر الطاقة:

إن مصادر الطاقة عديدة ومتنوعة وتختلف فيما بينها، وتؤثر على الأبعاد الاقتصادية والبيئية والاجتماعية. ويتسم مشهد الطاقة العالمي بمزيج من مصادر الطاقة المتجددة وغير المتجددة، ولكل منها مزايا وتحديات. يأتي هذا الاختلاف نتيجة نوع الطاقة المستخرج بحيث تستخدم عدة معايير و أسس لتصنيف هذه المصادر، والتي يمكن تقسيمها إلى)توات, 2020(24 .p ,

أ- مصادر الطاقة حسب الوجود الفزيائي:

يمكن تصنيف مصادر الطاقة إلى أنواع بناءً على الشكل الذي يتم فيه تخزين الطاقة أو نقلها أو تحويلها، بالمعنى المكاني. وبهذا المعنى، تصنف مصادر الطاقة عمومًا إلى طاقة ميكانيكية، وحرارية، وكيميائية، وإشعاعية (Achalpur, Amravati et al., 2024)،تشمل مصادر الطاقة الميكانيكية الرياح والطاقة الكهرومائية وأمواج المحيطات والمد والجزر، التي تحول الطاقة الحركية أو الكامنة مباشرة إلى كهرباء أو عمل ميكانيكي. تشمل مصادر الطاقة الحرارية الطاقة الحرارية الأرضية والأنظمة الحرارية الشمسية التي تستخدم استخراج الحرارة لاستخدامها في توليد الطاقة أو التطبيقات المباشرة. تشمل مصادر الطاقة الكيميائية في المقام الأول الوقود الأحفوري، مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي، بالإضافة إلى الكتلة الحيوية. في هذه الحالات، يتم إطلاق الطاقة عن طريق تفاعلات كيميائية أثناء الاحتراق أو التحويل. المصدر الأكثر شيوعًا للطاقة المشعة هو الإشعاع الشمسي. ويمكن الاستفادة منه مباشرة من

خلال تقنيات الطاقة الشمسية الكهروضوئية أو بشكل غير مباشر من خلال قنوات متجددة أخرى. الطاقة النووية هي شكل مختلف من أشكال الطاقة ينشأ عن الانشطار النووي، وربما الاندماج النووي في المستقبل حيث يتم الحصول على الطاقة من عمليات ذرية وليس كيميائية أو ميكانيكية.

يرتبط هذا التصنيف ارتباطًا وثيقًا بالنهج القائمة على النظم الإيكولوجية التي تميز بين تدفقات الطاقة الشمسية (الطاقة التي تأتي من الإشعاع الشمسي وتظهر في شكل رياح وأمطار وكتلة حيوية وما إلى ذلك) ومصادر الطاقة التلورية أو الجيولوجية مثل الطاقة الحرارية الأرضية والطاقة الأحفورية والطاقة النووية (الطاقة التي تنطوي على عمليات تحدث في قشرة الأرض وعباءتها ,Gheorghe) (2024. ويشكل تطبيق هذا التصنيف المادي الأساس الضروري لكفاءة الطاقة والمتطلبات التكنولوجية الإضافية للطاقة والأثر البيئي.

ب- مصادر الطاقة حسب الأصل والنشأة:

بناءً على أصلها وتكوينها، تصنف مصادر الطاقة في الغالب إلى مصادر متجددة ومصادر غير متجددة. مصادر الطاقة المتجددة المختلفة التي يتم تجديدها بشكل مستمر بشكل طبيعي في نطاق زمني بشري أو شبه بشري هي الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية والطاقة الحرارية الأرضية والكتلة الحيوية وطاقة المحيطات، إلخ(Çelikbilek, 2025). قد يكون للطاقة التي يتم الحصول عليها من الإشعاع الشمسي بشكل مباشر أو غير مباشر، والطاقة التي يتم الحصول عليها من العمليات الجيولوجية الجارية تأثير أقل على المدى الطويل.

على عكس مصادر الطاقة المتجددة، فإن مصادر الطاقة غير المتجددة هي الوقود الأحفوري (الفحم والنفط والغاز الطبيعي) واليورانيوم، وهو وقود نووي. تتشكل هذه الموارد على مدى زمن جيولوجي من خلال عملية طبيعية معقدة تتمثل إما في تحلل المواد العضوية أو تكوين معادن مشعة، وتستنفد مع استخراجها واستخدامها (Choudhury, 2025). المصادر غير المتجددة محدودة وتؤدي إلى انبعاثات واسعة النطاق من غازات الدفيئة وتدهور البيئة، وهي غير مستدامة ولن تكون مضمونة على المدى الطويل.

وتفصل التصنيفات الأكثر تعقيدًا بين مصادر الطاقة بناءً على ما إذا كانت من أصل شمسي أو تيلوري. وتشمل المصادر التي تنشأ من الشمس الإشعاع الشمسي نفسه وأشكاله الثانوية مثل الرياح والطاقة الكهرومائية والكتلة الحيوية، بينما تشمل المصادر ذات الأصل الجيولوجي الطاقة الحرارية الأرضية والوقود الأحفوري والطاقة النووية (Gheorghe, 2024).

مصادر الطاقة حسب التطور التاريخي:

لقد أثر التطور التاريخي لمصادر الطاقة على تصنيفها، ولكن ليس دائمًا على مكانتها في المجتمع. تطور استخدام الطاقة من الأشكال التقليدية مثل الحطب، والطاقة الحيوانية، والمياه البسيطة، وطواحين الهواء. مع تطور الاقتصاد والتكنولوجيا، أصبح استخدام الطاقة أكثر تركيزًا وكفاءة. لقد أدى اعتماد الفحم على نطاق واسع خلال الثورة الصناعية إلى تمكين الإنتاج الآلي والنمو السريع للصناعة.

وفي نهاية المطاف، تم استبدال ذلك بالنفط والغاز الطبيعي في القرن العشرين، اللذين أصبحا مهمين للنقل وتوليد الطاقة والعمليات الصناعية (Choudhury, 2025).

بعد النصف الثاني من القرن العشرين والقرن الحادي والعشرين، أصبحت التقنيات النووية والمتجددة الحديثة جزءًا مهمًا من مزيج الطاقة العالمي. هناك قلق متزايد بشأن أمن الطاقة وحماية البيئة وتغير المناخ، إلى جانب التطورات العلمية والهندسية. لقد تم النظر في الابتكار التكنولوجي والبنية الاقتصادية والحاجة الاجتماعية لمنطقة أو بلد على أساس تاريخي لفهم ظاهرة التحول في مجال الطاقة(Saraswat & Digalwar, 2021):

ت–مصادر الطاقة حسب ديمومتها:

تمثل مصادر الطاقة التي تم تقييمها من جوانب الاستدامة والاستمرارية التوافر طويل الأجل لهذه المصادر، والتأثير الناتج عنها، والقدرة على التوافق مع أهداف المناخ والتنمية. مصادر الطاقة المتجددة وذات التأثير المنخفض هي تلك التي تنتج عمومًا انبعاثات منخفضة من غازات الدفيئة (GHG) ويمكن تجديدها باستمرار إذا تمت إدارتها بشكل صحيح. وتشمل هذه المصادر طاقة الرياح والطاقة الشمسية والطاقة المائية والطاقة الحرارية الأرضية والطاقة الحيوية الحديثة، وتعتبر مستدامة(Dash et al., 2024).

من ناحية أخرى، تتميز مصادر الطاقة الأحفورية التقليدية بانبعاثات كربونية عالية ومخزون محدود وتكاليف بيئية خارجية عالية، وهي مصادر طاقة غير كافية على المدى الطويل(Dash et al., 2024)لمعالجة هذه الصعوبات، اقترحت أطر التصنيف الحديثة فئات إضافية مثل مصادر الطاقة ''الاحتياطية'' و''الاحتجازية''، التي تعتبر انبعاثات الكربون على مدار دورة الحياة واحتجاز الكربون وتخزينه أحد معايير التصنيف الرئيسية(Alajingi & R, 2023)أصبح تقييم الاستدامة من الناحية الاقتصادية عنصرًا رئيسيًا في سياسة الطاقة والاستثمار والتخطيط.

المطلب الثاني: الطاقات التقليدية

1. النفط

أ- تعريف النفط:

يعرف النفط بأنه "دهن معدني سريع الاحتراق توقد به النار ويتداوى به وقد وجدت مكامنه عند حفر الأراضيالرسوبية تحت البحار واليابسة على أعماق مختلفة"، كما يعرف بكلمة البترول وهي ذات أصل لاتيني ومعناها زيت الصخر(الكريم & الكريم ,2018 582,)، مشتقة من كلمتي Petra وOleumومعناهما الصخر والزيت أو النفط. وتعني كلمة Petroleum بتعريفها الموسع أنها المنتجات الأساسية (غير المكررة) والمنتجات الثانوية المكررة(توات, 30,2020)، فهو سائل موجود بشكل طبيعي تحت سطح الأرض، ويتكون بشكل أساسي من الهيدروكربونات. وهو خليط معقد يمكن أن يختلف اختلافاً كبيراً في تركيبته وخصائصه اعتماداً على مصدره. ويُعد البترول مورداً أساسياً لإنتاج الطاقة ويُستخدم كمادة خام لمختلف المنتجات الكيميائية (Grigorievوآخرون, 2022,).

الجدول 1: التركيبة الكميائية للنفط

العناصر	النسبة المئوية
الكربون	83إلى 87%
الهيدروجين	10إلى 14%
النيتروجين	0.1إلى 2%
الأكسجين	0.05إلى 6.0%
الكبريت	0.05إلى 6.0%
المعادن	<% 0.1

المصدر:(*GENV22-23.pdf*, s. d., p. 2)

النفط باعتباره مادة سائلة تتشكل في أعماق الأرض عبر ملايين السنين، نتيجة لتحلل الكائنات الحية الدقيقة كالطحالب والعوالق البحرية التي تراكمت في قاع البحار والمحيطات القديمة، وبسبب الضغط العالي والحرارة في الأعماق (بين 60 و120 درجة مئوية)، تبدأ هذه المواد العضوية تتحلل تدريجيًا وتتحول إلى مركبات هيدروكربونية داخل الصخور الرسوبية التي تحتوي على هذه المركبات،

وتُسمى صخور المصدر، وهي غنية بالمادة العضوية، بعد ذلك يتحرك النفط من صخور المصدر إلى صخور الخزاننتيجة الضغط، أينيتخزن النفط(Edward J. Tarbuck, 2008).

يتجمع النفط في أماكن مغلقة تحت الأرض تُسمى مصائد نفطية، تمنع النفط من الصعود إلى السطح، مما يستوجب استخراجه حفر الآبار، علما بأنها عملية معقدة تتضمن طرقًا وتقنيات مختلفة لفصل النفط بكفاءة عن مواده المصدر، مثل الرمال النفطية أو الصخر الزيتي أو المواد الصلبة الحاملة للنفط.

ب–أنواع النفط:

يتميز النفط الخام بتنوع كبير في خصائصه الفيزيائية والكيميائية والاقتصادية. وقد أدى ذلك إلى ظهور أنواع مختلفة من النفط الخام، لكل منها سعر وظروف تكرير وتأثير بيئي مختلف عن الأنواع الأخرى. تتطلب هذه التنوع الكبير تصنيفًا منهجيًا يستخدم عدة معايير تقنية وتجارية، تمت مناقشتها باستفاضة في أدبيات هندسة البترول واقتصاديات الطاقة. عادةً ما تتميز خطة تصنيف النفط بالكثافة ومحتوى الكبريت والأصل الجغرافي وطريقة الاستخراج (Harraz, 2016, p. 18-21; J. G. Speight, 2014, p. 14-20)،

1) حسب الكثافة (الوزن النوعي):

تصنيف النفط الخام حسب كثافته هو على الأرجح الأكثر بساطة. يتم التعبير عن الكثافة بوحدة الثقل النوعي API التي طورها المعهد الأمريكي للبترول. يوفر الثقل النوعي API قياسًا موحدًا يعطي مؤشرًا على مدى خفة أو ثقل النفط الخام مقارنة بالماء. كما أن API هو مؤشر مهم لسلوك التكرير وهيكل إنتاج المنتج وقيمته السوقية

- **النفط الخفيف:**

يتميز النفط الخام الخفيف بثقل نوعي أعلى من API 31.1. ويتكون من نسبة كبيرة من أجزاء الهيدروكربون الخفيفة وينتج كميات كبيرة من المنتجات عالية القيمة بما في ذلك البنزين والديزل والنفتا عند التكرير. ونظرًا لأن النفط الخام الخفيف له بنية بسيطة للغاية، فإنه أقل تعقيدًا وبالتالي فإن مدخلات الطاقة وما إلى ذلك ليست مكثفة مثل النفط الخام الثقيل.

- **النفط المتوسط:**

يتراوح فيه الوزن النوعيبين22.3 و31.1 درجة، أي بين النفط الخفيف والثقيل.يحتوي على نسبة متوسطة من الكبريت والمركبات الثقيلة إلا أنه أقل جودة من النفط الخفيف، لكنه أسهل في التكرير مقارنة بالنفط الثقيل.

- **النفط الثقيل:**

يبلغ معامل كثافة النفط الخام الثقيل وفقًا لمقياس API ما بين 10 و22.3، وهو شديد اللزوجة بطبيعته. كما أنه غني بالكبريت والمعادن ومركبات الهيدروكربون المعقدة. تتم عملية تحويل النفط الخام الثقيل عن طريق التكويك أو التكسير الهيدروجيني. وتؤدي هذه العمليات إلى زيادة الاستثمار الرأسمالي واستهلاك الطاقة وتكاليف التشغيل.

- **النفط شديد الثقيل:**

يعتبر النفط الخام الثقيل جدًا موردًا سيئًا للغاية، حيث تقل كثافته API عن 10. إن الحاجة إلى تقنيات تحسين مكلفة ومعقدة مثل الاستخلاص الحراري والتخفيف والتكرير المكثف للمنتجات السائلة تجعل تحويله إلى وقود مفيد مكلفًا للغاية وغير مرغوب فيه بيئيًا.

2) حسب نسبة الكبريت:

يتم تصنيف النفط الخام أيضًا بناءً على محتواه من الكبريت، وهي خاصية تؤثر بشكل كبير على التعقيد وجودة الوقود والأداء البيئي والامتثال للوائح التنظيمية. وهيكالأتي:

- **النفط الحلو:**

يحتوي النفط الخام الحلو على أقل من 0.5٪ من الكبريت بالوزن. تفضله مصافي التكرير لأنه يتطلب قدرًا أقل من إزالة الكبريت، وينتج وقودًا أنظف، ويمتثل بسهولة أكبر للوائح البيئية الصارمة. وبالتالي، يميل النفط الخام الحلو إلى البيع بسعر أعلى في السوق الدولية.

- **النفط الحامض:**

يحتوي النفط الخام الحامض على أكثر من 0.5٪ من الكبريت. ونظرًا لاحتوائه على نسبة عالية من الكبريت، فإنه يشكل خطرًا في إحداث تآكل في المعدات وتعطيل المحفزات القيمة. بالإضافة إلى ذلك، فإنه ينتج غاز ثاني أكسيد الكبريت عند الاحتراق. وهذا يتطلب مستويات أعلى من المعالجة الهيدروجينية واستعادة الكبريت. وترتفع تكاليف التكرير، ويصبح أقل جاذبية من النفط الخام الحلو في السوق.

3) حسب الموقع الجغرافي:

يعتمد هذا التصنيف بناءً على موقع استخراج النفط الخام و يشير التصنيف الجغرافي إلى الطبيعة الجيولوجية وكذلك الأهمية التجارية للنفط الخام. وبناءً على ذلك، فإن أنواع النفط الخام لها خصائص فيزيائية مختلفة وتلعب أدوارًا مختلفة في آلية التسعير اعتمادًا على المنطقة التي يتم استخراجها منها. وهي كالآتي:

- **برنت:**

خام برنت هو نوع من النفط الخام المستخرج من بحر الشمال، الواقع بين المملكة المتحدة والنرويج. وهو خفيف وحلو، مما يعني أنه ذو كثافة منخفضة ومحتوى منخفض من الكبريت. علاوة على ذلك، فهو أحد أهم المعايير المرجعية لتسعير النفط الخام على الصعيد الدولي، لا سيما في أوروبا وأفريقيا وبعض أجزاء من آسيا.

- **غرب تكساس الوسيط:**

WTI، وهو نفط خام خفيف وحلو يُنتج في الولايات المتحدة الأمريكية، هو المعيار الأساسي لتسعير النفط في أمريكا الشمالية. يعكس سعره حالة العرض والطلب المحلية وظروف البنية التحتية.

- **خام دبي / عمان:**

يُستخدم خام دبي/عمان لتسعير صادرات النفط من الشرق الأوسط إلى آسيا، وهو أثقل نسبيًا وأكثر كبريتًا من برنت، مما يعكس خصائص العديد من أنواع النفط الخام في منطقة الخليج.

- **النفط الجزائريصحاري بلند:**

النفط الخام برنت هو نفط خام خفيف وحلو، وهو مطلوب بشدة من قبل مصافي التكرير الأوروبية بسبب انخفاض محتواه من الكبريت.

- **خام الأورال:**

النفط الخام من الأورال هو نفط روسي المنشأ؛ وهو أثقل وأكثر حموضة من برنت، مما يؤدي إلى انخفاض قيمة التكرير وسعر مخفض في الأسواق الدولية.

4) حسب طريقة الاستخراج:

يعتمد هذا التصنيف على حسب صعوبة أو سهولة استخراجه من باطن الأرض:

- **النفط التقليدي:**

يُستخرج بوسائل تقليدية عبر الحفر العمودي في مكامن جيولوجية معروفة،بحيث يكون هذا النوع أقل تكلفة، وغالبًا ما يكون خفيفًا وسهل التكرير.

- **النفط غير التقليدي:**

مثل النفط الصخري،رمال القطران، والنفط المستخرج من أعماق البحار، يتطلب تقنيات متقدمة مثل التكسير الهيدروليكي أو التسخين بالبخار أو التعدين السطحي، ويُعد استخراجه وتكريره أكثر كلفة وتعقيدًا من النفط التقليدي..

2. الغاز الطبيعي:

أ- تعريف الغاز الطبيعي:

الغاز الطبيعي هو أحد أكثر أنواع الوقود الأحفوري استخدامًا في العالم لتوليد الطاقة والعمليات الصناعية والاستهلاك المنزلي، وبالتالي يحتل مكانة مركزية في نظام الطاقة العالمي. وقد أجريت تحليلات علمية وتقنية وسياسية مكثفة على الغاز الطبيعي بسبب تركيبته الكيميائية وخصائص احتراقه التي تسبب ضررًا أقل للبيئة من الفحم والنفط. توضح التعريفات التالية أبعاده الجيولوجية والكيميائية ونظام الطاقة.

عادة ما يُنظر إلى الغاز الطبيعي على أنه مجموعة من الهيدروكربونات الغازية الخفيفة التي تتراكم إما في خزانات غاز مستقلة أو بالاقتران مع النفط الخام في التكوينات الجيولوجية المسامية والمنفذة في قشرة الأرض. الغاز الطبيعي هو مورد طاقة أحفوري، ناتج عن التحلل الحراري للمواد العضوية تحت الضغط والحرارة عبر العصور الجيولوجية. من وجهة نظر جيوكيميائية، تشكل الغاز الطبيعي من خلال التحلل الحراري للمواد العضوية في ظروف الضغط والحرارة العالية على مدار العصور الجيولوجية. قد تكون هناك خزانات تقليدية أو أشكال غير تقليدية مثل الغاز الصخري والغاز المحكم والميثان الموجود في طبقات الفحم (J. G. Speight, 2019, p. 15).

يتكون الغاز الطبيعي بشكل أساسي من الميثان (CH_4) الذي يتراوح بين 80٪ و 95٪ من إجمالي الغاز اعتمادًا على تركيز الغاز في الخزان. ويتكون في الغالب من ألكانات أعلى مثل الإيثان والبروبان والبيوتان وما إلى ذلك. وتحتوي الأجزاء المتبقية على مكونات غير هيدروكربونية مختلفة مثل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والنيتروجين (N_2) وكبريتيد الهيدروجين (H_2S) وآثار من الهيليوم وغيرها. نسبة الهيدروجين إلى الكربون في هذا الغاز الطبيعي عالية، مما يجعله فعالاً نسبياً في الاحتراق وينبعث منه كمية أقل من ثاني أكسيد الكربون لكل وحدة طاقة منتجة مقارنة بالفحم والنفط (Russell R. Chianelli, p. 170)

وفقًا لأنظمة الطاقة، يمكن استخدام الغاز الطبيعي، وهو أحد مصادر الطاقة الأولية المهمة، مباشرةً للتدفئة وتوليد الطاقة، أو يمكن استخدامه أيضًا في الصناعات البتروكيماوية والأسمدة كمواد خام. تعتبر الوكالة الدولية للطاقة أن الغاز الطبيعي جزءًا رئيسيًا من أنظمة الطاقة لدينا نظرًا لمرونته وقابليته للتوزيع، ويمكن استخدامه مع البنية التحتية الحالية، وتكامل مصادر الطاقة المتجددة مع طاقة الرياح والطاقة الشمسية .(IEA 2022) الغاز الطبيعي ضروري لأنظمة الطاقة الحديثة *World Energy Outlook* (*2022 – Analysis*, 2022).

ب–استخدام الغاز الطبيعي

- **البيانات التاريخية**

لوحظ إنتاج الحرارة والضوء بحرق الغاز الطبيعي منذ آلاف السنين، عندما تسببت أحداث عشوائية، مثل حرائق الغابات والعواصف الرعدية، في اشتعال انبعاثات غازية من التربة وظهور لهب مستمر. وقد أدى نقص المعرفة وعدم القدرة على تفسير هذه الظاهرة إلى ظهور أساطير وأحكام مسبقة. اكتُشف أحد أشهر "اللهب" من هذا النوع في اليونان القديمة، على جبل بارناسوس حوالي عام 1000 قبل الميلاد. وقد وُصف اكتشاف راعي ماعز عرضيًا لما يشبه "نافورة ملتهبة" تنبثق من ثقب صخرة، بأنه ذو أصل إلهي، وأدى إلى تأسيس أحد أهم أماكن العبادة في العصور القديمة، وهو معبد دلفي. وبعد حوالي خمسة قرون، اكتشف الصينيون إمكانية استخدام الغاز المتسرب من باطن الأرض لمصلحتهم. قاموا ببناء أنابيب مؤقتة من الخيزران، ونقلوا الغاز إلى منطقة الاحتراق، غير البعيدة عن المصدر، لغلي مياه البحر لإنتاج الملح ومياه الشرب.(Deligeorgiou & Gounaris, 2014)

خلال القرن التاسع عشر، استُخدم الغاز الطبيعي بشكل رئيسي لإضاءة الطرق والمباني العامة. في عام 1885، ابتكر المخترع الأمريكي روبرت بنسن جهازًا يمزج الغاز والهواء بنسب مناسبة لحرقهما بأمان، لاستخدامهما في الطهي والتدفئة. فتح الجهاز المعروف باسم موقد بنسن آفاقًا جديدة لاستخدام الغاز الطبيعي .ومع ذلك، فإن ضعف نقله الآمن لمسافات طويلة لم يسمح بتطور صناعة الغاز في ذلك الوقت.

- **التطبيقات في العصر الحديث**

مع نمو أساليب معالجة ونقل الغاز الطبيعي، اكتسب استخدامه أبعادًا هائلة من حيث الكمية وتنوع التطبيقات. يمكن تصنيف الاستخدامات الرئيسية في المجالات التالية:

❖ **الاستخدام المنزلي**

تجعل التكلفة التنافسية للغاز الطبيعي، مقارنةً بأشكال الطاقة الأخرى، منه شائعًا جدًا للاستهلاك المنزلي، وخاصةً لتدفئة المنازل. يتيح التقدم التكنولوجي انتشارًا متزايدًا لأجهزة الغاز المنزلية، التي تحل تدريجيًا محل الأجهزة الكهربائية المقابلة. ومن الاستخدامات المنزلية الحالية للغاز: التبريد باستخدام أجهزة تكييف مناسبة، والطهي، وحفظ الطعام، وتسخين المياه للنظافة الشخصية، وحمامات السباحة والجاكوزي، والمدافئ، والشوايات، ومجففات الملابس، والإضاءة الخارجية. وبالطبع، هناك أجهزة تتطلب الكهرباء، مثل

أجهزة التلفزيون، وأجهزة الكمبيوتر، وأفران الميكروويف، وأنظمة الصوت، وأنظمة الأبواب، وغيرها، والتي لا تعمل مباشرةً بالغاز الطبيعي. إلا أن تطوير مولدات الطاقة المنزلية، المعروفة باسم التوربينات الدقيقة، التي تعمل بالغاز الطبيعي، من شأنه أن يحل هذه المشكلة. التكنولوجيا موجودة بالفعل، لكنها بحاجة إلى مزيد من التطوير، وبالطبع إلى تعديل التشريعات ذات الصلة. وفي حال حدوث ذلك، يُتوقع حدوث زيادة كبيرة في أجهزة الغاز المنزلية، وفي استهلاك الغاز المنزلي. يُعزى هذا التحول البطيء نسبيًا إلى ارتفاع تكلفة شراء هذه الأجهزة مقارنةً بالكهرباء المقابلة، ولذلك تتوسع شبكات توزيع الغاز بوتيرة بطيئة نسبيًا (Tsoumalis et al., 2022)

❖ الاستخدام التجاري

يستخدم الغاز الطبيعي تجارياً في القطاعين العام والخاص. وتشبه التطبيقات التجارية التطبيقات المنزلية، ولكن على نطاق أوسع وبكثافة طاقة أكبر. تستخدم المباني العامة والتجارية الغاز الطبيعي لتلبية احتياجاتها من الطاقة الحرارية والتشغيلية. وتشمل هذه المباني المدارس والمستشفيات والجامعات ودور العبادة والمجمعات الرياضية والفنادق والمطاعم. يستخدم الغاز الطبيعي بشكل رئيسي في هذه المرافق لتدفئة الأماكن وإنتاج المياه الساخنة المنزلية والطهي وخدمات الغسيل، وبشكل متزايد لتبريد الأماكن باستخدام مبردات الامتصاص التي تعمل بالغاز(Tsoumalis et al., 2022) .السبب وراء استخدام الغاز الطبيعي على نطاق واسع في المباني التجارية هو أنه يتمتع بكفاءة تحويل أعلى من الوقود النفطي، كما أنه موثوق به وخالي من المشاكل، وبالمقارنة مع الوقود النفطي، فإنه أكثر نظافة عند الاحتراق.

إلى جانب التطبيقات الحرارية المباشرة، بدأت المنشآت التجارية في استخدام الغاز الطبيعي لتوليد الكهرباء في الموقع باستخدام مولدات تعمل بالغاز وتوربينات غازية صغيرة. مع هذا التوليد اللامركزي، سيتم تعزيز أمن الطاقة، وستقل خسائر النقل، وستتعامل المنشآت بشكل أفضل مع ذروة الطلب على الكهرباء. عززت التطورات الحديثة في مجال التوليد المشترك للحرارة والكهرباء (CCHP) للأنظمة المتكاملة للطاقة دور الغاز الطبيعي في هذا القطاع حتى الآن.تولد هذه الأنظمة الكهرباء والتدفئة والتبريد في وقت واحد من نفس الوقود المدخل، مما يزيد من استخدام الطاقة إلى أقصى حد ويحسن كفاءة النظام. تظهر الدراسة أن أنظمة CCHP التجارية التي تعمل بالغاز الطبيعي يمكن أن تحقق كفاءة طاقة إجمالية تزيد عن 70-80٪، مع تقليل استهلاك الوقود وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون المقابلة بشكل كبير مقارنة بأنظمة التوليد المنفصلة التقليدية (Gholamian et al., 2020; Mirzaei et al., 2024). ونتيجة لذلك، يزداد اهتمام مشغلي المنشآت التجارية الكبيرة بأنظمة CCHP التي تعمل بالغاز الطبيعي كحل لتحسين كفاءة الطاقة وخفض التكاليف

❖ الاستخدام الصناعي

يعد نظام الطاقة الصناعية للغاز الطبيعي مصدراً رئيسياً للحرارة الصناعية والمواد الخام الكيميائية. وتستخدم هذه المواد على نطاق واسع في القطاعات كثيفة الاستهلاك للطاقة مثل الصلب والمعادن والزجاج والأسمنت والبترول والبلاستيك والكيماويات والأغذية وغيرها. يستخدم الغاز الطبيعي في هذه القطاعات في الأفران عالية الحرارة والغلايات والأفران وعمليات التجفيف وتوليد البخار

لأنه يحترق بشكل نظيف ويمكن التحكم فيه بدقة ويوفر ملامح حرارية متسقة(Tsoumalis et al., 2022).بالإضافة إلى استخدامه كوقود، يستخدم في الصناعة الكيميائية كمكون أساسي. المصدر الرئيسي للأسمدة الأمونيا واليوريا والميثانول ومجموعة واسعة من البتروكيماويات هو إعادة تشكيل الميثان بالبخار الذي يحدث في وجود محفز. تستخدم المنتجات النهائية كمدخلات أساسية في الزراعة والأدوية والتصنيع .بالإضافة إلى ذلك، يتم استرداد المنتجات الثانوية المفيدة (مثل البروبان والبيوتان) واستخدامها في صناعة الأسمدة والأدوية والمواد الكيميائية المتخصصة(Liu et al., 2025).

ازدادت القيمة الاقتصادية والبيئية للغاز الطبيعي بسبب التقدم الأخير في تكامل الأنظمة الصناعية. محطات توليد الطاقة للغاز ومعالجة الغاز الكيميائي هي مشروع مماثل سيتم تطويره في المستقبل ويهدف إلى إنتاج كميات كبيرة من الغاز الطبيعي المسال بحجم 2 مليون طن سنويًا. غالبًا ما تحتوي هذه الأنظمة على آليات مدمجة لالتقاط الكربون، والتي يمكن أن تعزز كفاءة الموارد وتقلل من انبعاثات دورة الحياة(Liu et al., 2025). ونتيجة لذلك، أصبح الغاز الطبيعي يُنظر إليه بشكل متزايد ليس فقط كناقل للطاقة، بل أيضًا كمورد صناعي استراتيجي يساعد على تعزيز الإنتاجية والقدرة التنافسية ويتيح خفض الانبعاثات في الأنظمة الهندسية.

❖ وقود النقل

منذ بداية القرن العشرين، استخدم الغاز الطبيعي كوقود للنقل. واكتسب هذا الاستخدام شعبية كبيرة بعد عام 1930 مع حدوث تطورات تكنولوجية مهمة. وفي العديد من البلدان، أعطت السياسات الحكومية دفعة كبيرة لاستخدام الغاز الطبيعي لأغراض النقل. تم تصميم الغاز الطبيعي المضغوط (CNG) والغاز الطبيعي المسال (LNG) للاستخدام في حافلات النقل العام وشاحنات البضائع ومحركات السفن والتطبيقات الثقيلة. يتم استخدام الغاز الطبيعي بشكل متزايد كوقود للنقل نظرًا لانخفاض انبعاثاته من الجسيمات وأكاسيد الكبريت وبعض أكاسيد النيتروجين مقارنة بوقود الديزل والبنزين التقليدي، مما يساعد في تحسين جودة الهواء في المدن(Srinivasan et al., 2019).

إلى جانب الفوائد البيئية، يمكن أن يوفر الغاز الطبيعي أيضًا مزايا تشغيلية واقتصادية للنقل. عادةً ما تكون محركات الغاز الطبيعي أكثر هدوءًا وأقل كثافة على المحرك وتتطلب صيانة أقل لأنها تحترق بشكل أنظف. إن كثافة الطاقة الأعلى للغاز الطبيعي المسال مقارنة بالغاز الطبيعي المضغوط تجعله وقودًا بديلًا مهمًا للشاحنات والشحن لمسافات طويلة لأنه يتيح مسافة قيادة أطول. هناك أكثر من 15 مليون مركبة تعمل بالغاز الطبيعي قيد الاستخدام حاليًا في جميع أنحاء العالم مع تصميمات محركات وأنظمة تخزين وقود وبنية تحتية لإعادة التزود بالوقود تتحسن باستمرار، ومن المرجح أن تشهد أعدادها ارتفاعًا كبيرًا في العقود القليلة المقبلة.

يستخدم الغاز الطبيعي الآن في أكثر من مجرد المركبات. فهو يكتسب أهمية متزايدة في تحسين مرونة نظام النقل والتحول الشامل في مجال الطاقة. ونظراً لإمكانية استخدامه كـ" جسر"أو وقود انتقالي لقطاع النقل، يمكن أيضاً تحويله إلى هيدروجين أو أنواع أخرى من الوقود الاصطناعي، مما يتيح مسارات لإزالة الكربون من وسائل النقل التي يصعب كهربة، مثل الشحن الثقيل والنقل البحري(Jones et al., 2022). وبالتالي، فإن الغاز الطبيعي يحتل موقعًا استراتيجيًا في أنظمة طاقة النقل الحالية والمستقبلية، من أجل تحسين الجدوى البيئية والتقنية والاقتصادية.

❖ **إنتاج الكهرباء**

يُظهر الانتشار السريع للغاز الطبيعي في توليد الطاقة منظورًا جديدًا في هذا المجال. وتشير التقديرات إلى أنه في الولايات المتحدة، سيتم إنتاج الكهرباء باستخدام الغاز الطبيعي بمعدلات أعلى بكثير خلال العشرين عامًا القادمة مقارنةً بالموارد الأخرى. في عام 2012، وصل إنتاج الكهرباء بهذه الطريقة في الولايات المتحدة إلى 30.50% من إجمالي الطاقة الكهربائية المنتجة، مقارنةً بنسبة 24.8% في عام 2011. ومع ذلك، فإن الزيادة المتوقعة خلال السنوات الخمس والعشرين القادمة ستعتمد على تطبيق العوامل الوطنية وغيرها من العوامل المؤثرة في صياغة سياسة الطاقة.

صُممت التكنولوجيا في قطاع الطاقة لجعل عملية وطرق إنتاج الكهرباء بالغاز الطبيعي أكثر كفاءة، وذلك بهدف خفض تكلفة الكيلوواط/ساعة. في الوقت الحالي، لا تتجاوز كفاءة الإنتاج، سواءً باستخدام مولدات البخار أو الغاز، أو CCHP، 60% من إمكانات الطاقة للغاز الطبيعي. من المرجح أن تحقق التقنيات المبتكرة، مثل التوربينات الدقيقة، ما يصل إلى 80%، وأن تنتج ما بين 25 و500 كيلوواط، وستساهم بشكل كبير في توسيع نطاق استخدام الغاز الطبيعي في توليد الكهرباء، وخاصةً في الاستخدامات المنزلية والتجارية.

3. الفحم:

أ- تعريف الفحم:

الفحم هو صخرة رسوبية معقدة تتكون من كربون مركّز. علاوة على ذلك، يتخذ الكربون في الفحم عادة شكل جزيء كبير معقد، لم يتم بعد تحديد طبيعته ووظيفته بشكل كامل. بشكل عام، يحتوي الفحم أيضًا على نسب متفاوتة من الهيدروجين والأكسجين والنيتروجين والكبريت، بالإضافة إلى كمية صغيرة من المواد المعدنية غير العضوية. كما أن الفحم هو أحد أهم موارد الطاقة الأحفورية في التاريخ. يرتبط تكوين الفحم بشكل أساسي بتراكم المواد النباتية وتحللها وتحولها إلى فحم على المدى الطويل: من الطحالب والنباتات منخفضة الرتبة إلى أسلاف النباتات الخشبية، في ظل ظروف الضغط والحرارة العالية على مدى الزمن الجيولوجي. بمرور الوقت، تتعرض النباتات الميتة للتحلل الكيميائي الحيوي يليه تحول فيزيائي كيميائي بسبب تقدم عملية التحول إلى فحم. ونتيجة لذلك، يزداد محتوى الكربون في المادة، وتتم إعادة هيكلة المادة العضوية(Smoot, 1979) . يتفاوت الفحم الناتج في تكوينه وخصائصه اعتمادًا على الكتلة الحيوية الأصلية وكذلك بيئة التكوين، وهذا بدوره يؤثر بشكل كبير على قيمته الحرارية وكذلك سلوكه عند الاحتراق وفائدته في الصناعة. بناءً على الهياكل، يتكون الفحم من مكونات عضوية تسمى الماسيرالز، وهي مكونات مدمجة في مصفوفة معدنية غير عضوية تتكون أساسًا من الكوارتز والمعادن الطينية والفلسبار والمعادن الكبريتيدية مثل البيريت Coal ») .Characteristics », 2008)

يمكن أن تؤثر هذه العناصر المعدنية بشكل كبير على سلوك الفحم أثناء الاحتراق وسلوك الرماد اللاحق فيما يتعلق بالتكوين والخبث والانبعاثات. قبل العصور الوسطى المبكرة، كان استخراج الفحم محدودًا. ومع ذلك، تشير السجلات المكتوبة إلى أن الاستخراج زاد من عام 1000 م، ثم نما بسرعة خلال القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين بسبب التصنيع وزيادة الطلب على

الطاقة(Gupta, 2018). استلزم الاستخدام المكثف للفحم تطوير طرق منهجية وعلمية لتوصيف الفحم من أجل إقامة الصلات بين تكوين الوقود وخصائصه الفيزيائية من ناحية وأدائه في مختلف الأنظمة الصناعية من ناحية أخرى. ونتيجة لذلك، أصبح تحليل الفحم نشاطًا مهمًا، يشمل التحليلات التقريبية والنهائية. تقيس هذه التحليلات الرطوبة والمواد المتطايرة والكربون الثابت ومحتوى الرماد والتركيب العنصري والقيمة الحرارية(J. Speight, 2012). أصبح التحليل البتروغرافي مهمًا لتكوين الماكرال وتوزيع المعادن. ويرتبط ذلك بجودة الفحم ورتبته ومدى ملاءمته للاستخدام في توليد الطاقة أو التكويك أو التغوي (Bruce G. Miller & David A. Tillman, 2008).نظرًا لوجود المواد المعدنية في الفحم، فإنها تؤثر على كفاءة احتراق الفحم، وتؤدي إلى انبعاث غازات سامة مثل أكاسيد الكبريت والجسيمات وغيرها. لذا، فإن وجود الفحم غير العضوي يؤثر على استخداماته المختلفة التي تختلف من فحم لآخر. توجد تقنيات تفصيلية للتوصيف والتحليل المتقدم(Susilawati, 2015)لا يزال الفحم مصدرًا أساسيًا للطاقة على نطاق عالمي. ومع ذلك، فإنه يتعرض لانتقادات متزايدة على صعيد الاستدامة. لذلك، نجري أبحاثًا حول تكنولوجيا الفحم النظيف. علاوة على ذلك، يتم تطوير طرق تحليلية محسنة لتعزيز الكفاءة وتقليلالتأثير السلبي على البيئة.

ب–أنواع الفحم وخصائصه:

يُنتج الفحم، باعتباره أحد أنواع الوقود الأحفوري الثلاثة (إلى جانب النفط والغاز)، حوالي 40% من كهرباء العالم وحوالي 25% من الطاقة الأولية. ووفقًا للرابطة العالمية للفحم، يُعد الفحم أكبر مصدر منفرد للكهرباء في العالم، وسيظل يُساهم بنسبة 22% من توليد الكهرباء في عام 2040. تُحدد جودة الفحم مباشرةً من خلال محتواه من الكربون وكمية الطاقة الحرارية التي يُمكن أن يُنتجها الفحم عالي الجودة(Jovanovski et al., 2023).

الجدول 2: أنواع الفحم وخصائصه

نوع الفحم	محتوى الكربون على أساس جاف (%)	محتوى الرطوبة قبل التجفيف (%)	محتوى المواد المتطايرة على أساس جاف (%)	المحتوى الحراري (ميجا جول/ كجم)
الأنثراسيت (**Anthracite**)	92–86	10–7	14–3	33–32
الفحم القيري/البيتوميني (**Bituminous**)	86–76	18–8	46–14	33–23
الفحم تحت البيتوميني (**Sub–bituminous**)	76–70	38–18	53–42	23–18

اللجنيت/الفحم البني (**Lignite**)	70–65	55–35	63–53	18–17
الخث (**Peat**)	أقل من 60	75	96–63	15

المصدر: Jovanovski, G., Boev, B. &Makreski, P. Chemistry and geology of coal: nature, composition, coking, gasification, liquefaction, production of chemicals, formation, peatification, coalification, coal types, and ranks. *ChemTexts* **9**, 2 (2023).P10

الفحم شبه البيتوميني أو الليجنيت الأسود هو فحم رمادي أسود إلى بني داكن، يتراوح لونه بين الصلابة واللين، وهو مرحلة وسيطة بين الليجنيت منخفض الجودة والفحم البيتوميني عالي الجودة. يتراوح محتوى الكربون في الفحم شبه البيتوميني من 70% إلى 76%. وهو ينتمي إلى أنواع الفحم الأحدث، ويبلغ عمره حوالي 251 مليون سنة. لذلك، فإن طول مدة الدفن مقارنةً بالليغنيت يزيد من كثافة طاقته، والتي تتراوح بين 18 و23 ميجا جول/كجم . يُعد هذا النوع من الفحم الأكثر استخدامًا، حيث تُشكل نسبة 30% من موارد الفحم شبه البيتوميني ،. يُعد الفحم البيتوميني ثاني أعلى جودة من الفحم، حيث تتراوح نسبة الكربون فيه بين 76 و86%. وهو أكثر أنواع الفحم وفرةً، وأحد أطول أنواع الوقود الأحفوري دفنًا، حيث يبلغ عمره حوالي 300 مليون سنة. لذلك، فإن كثافة طاقته مرتفعة نسبيًا، حيث تتراوح بين 23 و33 ميجا جول/كجم. إن ارتفاع نسبة الكربون وانخفاض نسبة الرطوبة في هذا النوع من الفحم يجعله مثاليًا لإنتاج الفولاذ والأسمنت، بالإضافة إلى توليد الطاقة وإنتاج فحم الكوك. الأنثراسيت هو نوع من الفحم الأسود الداكن يتميز بأعلى جودة. يتميز بصلابة عالية، ونسبة رطوبة منخفضة، ونسبة كربون تصل إلى 95% تقريبًا. يُعد الأنثراسيت عادةً أقدم أنواع الفحم، حيث تكوّن من كتلة حيوية دُفنت قبل 350 مليون سنة. بكثافة طاقة تبلغ 33 ميجا جول دخان مقارنةً بأنواع الفحم الأخرى، يُستخدم الأنثراسيت في تدفئة الأماكن. يحترق لفترة أطول من الخشب، مما يجعله مناسبًا للاستخدام في مواقد التدفئة المنزلية. يُعد استخدام فحم الأنثراسيت ضروريًا ومفيدًا، خاصةً في ظل أزمة الطاقة الحالية في العالم(Jovanovski et al., 2023; Julzarika & Setiawan, 2017).

في بعض الأحيان، تُذكر ثلاثة أنواع أخرى من الفحم في المراجع: الجرافيت، وفحم القناة، وفحم الكوك. يصعب إشعال الجرافيت، ويُستخدم غالبًا في أقلام الرصاص أو كمسحوق للتزييت، ولكن ليس كوقود فحم القناة (أو فحم الشمعة) هو فحم مطحون ناعمًا عالي الرتبة، ويحتوي على نسبة كبيرة من الهيدروجين، ويتكون أساسًا من الليبتنيت (يبقى مطحونًا ناعمًا في رواسب الفحم). يُحرق فحم الكوك (أو الفحم المعدني) في درجات حرارة عالية لإنتاج الفولاذ وإلا، فإن جودة الفحم (رتبة الفحم) ضمن منطقة صغيرة تُعرّف بقانون هيلت، الذي يستند إلى ملاحظة جيولوجية مفادها أنه كلما كان الفحم أعمق، زادت رتبته (أو درجته). وتجدر الإشارة إلى أن هذا القانون ينطبق عندما يكون التدرج الحراري عموديًا تمامًا، لأنه بغض النظر عن العمق، يمكن أن يُسبب التحول تغيرات جانبية في الرتبة(Denge & Baiyegunhi, 2021).

الجدول 3: أنواع الفحم ومظاهره

نوع الفحم	نوع الصخورLithotype	المظهر
Humic (banded)	Vitrain	شرائط ساطعة، سوداء، لامعة وهشة، وعادة ما تكون بها شقوق أو تصدعات. تميل إلى التكسر إلى مكعبات صغيرة
	Clarain and sometimesfusian	شرائط شبه ساطعة (بين فيترينوكلارين)، سوداء وذات طبقات دقيقة (بمقياس المليمتر) من فيترين ودورين
	Durain	شرائط باهتة، سوداء إلى رمادية سوداء ذات سطح خشن. الشرائط بها شقوق (تصدعات) أقل من فيترين. تميل إلى التكسر إلى كتل.
	Fusain	شرائط سوداء إلى رمادية مع بريق (لمعان) خفيف. أحيانًا ليفية. ناعمة وقابلة للتفتت، أحيانًا تشبه الفحم.
Sapropelic (non-banded)	Cannel	فحم أسود إلى رمادي غامق، غير مخطط، ذو بريق (لمعان) باهت إلى دهني. غالبًا ما ينكسر بكسر صدفي (شبيه بالزجاج).

المصدر: Jovanovski, G., Boev, B. &Makreski, P. Chemistry and geology of coal: nature, composition, coking, gasification, liquefaction, production of chemicals, formation, peatification, coalification, coal types, and ranks. *ChemTexts* **9**, 2 (2023).P12

"نوع الفحم" هو تصنيف جيولوجي محدد يعتمد على المظهر العام للفحم، ويشير إلى رتبة الفحم (الليغنيت، البيتومين، إلخ) أو درجة الفحم (الفحم منخفض الكبريت، الفحم البخاري، الفحم المعدني، إلخ). ومع ذلك، فإن معظم أنواع الفحم لها طبقات داخلية تُسمى الشرائط. تعتمد أنواع الفحم، ومجموعات فرعية من الأنواع، تُسمى الأنماط الحجرية، على وجود الشرائط أو غيابها، وعلى سطوع أو تعتيم كل شريط. تنقسم أنماط الفحم الحجرية إلى أنماط حجرية مجهرية، تتكون من أنواع مختلفة من مكونات الفحم المجهرية، تُسمى الماكرالات. تُمثل الماكرالات للفحم ما تُمثله المعادن للصخور (اللبنات الأساسية). من هذا المنظور، هناك نوعان

أساسيان من الفحم، وكلاهما يمكن أن يتواجد في طبقة فحم واحدة: فحم الدبال (المخطط) وفحم السابروبيل (غير المخطط)(Jovanovski et al., 2023).

رتبة الفحم بشكل عام، يعتمد تعريف رتبة الفحم على التغيرات الملحوظة في معايير الفحم خلال مراحل التغيرات الفيزيائية والكيميائية في تحول الخث إلى فحم (وتسمى التفحم). تُستخدم فئات ومعايير مختلفة قليلاً في مختلف البلدان، ولكن بشكل عام، يتم الترتيب تصاعديًا من الليجنيت إلى الفحم شبه القاري والقاري إلى الأنثراسايت. لا يمكن دائمًا التمييز بين رتب الفحم المختلفة من خلال المظهر وحده. غالبًا ما يتطلب الأمر اختبار معايير مختلفة للتمييز بين رتب الفحم(Jovanovski et al., 2023).

المطلب الثالث: الطاقات المتجددة

تُظهر أدبيات سياسات الطاقة التباسًا مفاهيميًا متكررًا بين الطاقة البديلة والطاقة المتجددة، رغم أن كلًّا منهما يرتكز على أطر تحليلية وأسس تعريفية متميزة. تُفهم الطاقة المتجددة من الناحية التقنية والفيزيائية على أنها طاقة من مصادر يتم تجديدها بشكل طبيعي على نطاق زمني بشري ولا تنضب فعليًا. وهي تشمل الإشعاع الشمسي والرياح والطاقة الكهرومائية والكتلة الحيوية والحرارة الجوفية وطاقة المحيطات (Halkos & Gkampoura, 2020).

1. الإطار المفاهيمي لمصادر الطاقة في سياق التحول الطاقي

أ- الطاقة المتجددة والطاقة البديلة:

وفقًا للأدبيات العلمية، يُعرَّف مصطلح" الطاقة المتجددة"بمصطلحات فيزيائية أكثر تقنية على أنه الطاقة المستمدة من الموارد الطبيعية التي تتجدد بمرور الوقت وعلى نطاق زمني بشري ولا تنضب فعليًا، و التي يتحصل عليها عبر مصادر مختلفة كالإشعاع الشمسي، طاقة الرياح، الطاقة الكهرومائية، الكتلة الحيوية، الطاقة الحرارية الأرضية، طاقة المحيطات. لا يستند هذا التعريف إلى سياق سياسي أو اقتصادي، بل إلى كون المورد نفسه (Qazi et al., 2019).كما تُظهر العديد من الدراسات أن الطاقة المتجددة مرتبطة بانخفاض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري والقضايا البيئية مقارنة بالطاقة الأحفورية. ومع ذلك، تظل هذه العلاقة مشروطة وتخضع لتقييمات دورة الحياة وحدود النظام المستخدمة في التقييم(X. H. Chen et al., 2023). في المقابل، لا يوجد مفهوم مطلق أو مستقل عن السياق للطاقة البديلة. لا يتم تعريف هذا المصدر من خلال خصائصه الفيزيائية، بل من خلال علاقته في الموقع بنظام الطاقة الحالي فمصطلح الطاقة البديلة يعرّف أي مصدر طاقة، على سبيل المثال، التكنولوجيا التي يمكن أن تحل محل مصادر الطاقة التقليدية، وخاصة الوقود الأحفوري. يتم تنفيذها لأسباب تتعلق بأمن الطاقة، وتنويع مزيج الطاقة، وخفض الانبعاثات، أو تقليل التكلفة(Tareen et al., 2018)وبالتالي، ليس من الضروري أن تكون الطاقة البديلة متجددة؛ بل يجب ببساطة استخدامها كبديل للوقود الأحفوري أو يجب أن تكون قادرة على القيام بذلك في السياسة أو الاستراتيجية المعنية. ونتيجة لذلك، يمكن لجميع مصادر الطاقة المتجددة تقريبًا أن تكون طاقة بديلة، ولكن ليست كل الطاقات البديلة متجددة.تندرج الطاقة المتجددة في سياق العديد من الأطر القانونية الوطنية تحت بند الطاقة البديلة، مما يوسع من معنى هذه الأخيرة (Zhuravel et al., 2023).

وفي سياق خاص تبنى العديد من سياسات الطاقة وخطط التحول على الطاقة النووية باعتبارها البديل الرئيسي للوقود الأحفوري بسبب انخفاض انبعاثات الكربون أثناء التشغيل. ومع ذلك، نظرًا لأنها تعتمد على اليورانيوم، وهو مورد جيولوجي غير متجدد، فلا

يمكن اعتبارها طاقة متجددة على الرغم من تصنيفها كطاقة بديلة ومنخفضة الكربون(X. H. Chen et al., 2023). تصنف أيضا طرق إنتاج الهيدروجين القائمة على الغاز الطبيعي أو الموارد الأحفورية في بعض الأحيان على أنها طاقة بديلة في استراتيجيات الانتقال. وكما هو الحال مع الطرق القائمة على المواد الحيوية، فإن الغاز الطبيعي أو الموارد الأحفورية هي أيضًا طرق قائمة على الموارد، حيث يتم إنتاجها على مدى فترات زمنية جيولوجية، وبالتالي فهي غير متجددة من حيث الموارد (Dinçer, 2025) . تُظهر الأمثلة أهمية الحفاظ على فصل تحليلي صارم بين الطاقة البديلة والطاقة المتجددة حتى لا يتم الخلط بين استراتيجيات التحول الطاقي قصيرة ومتوسطة المدى واستدامة الموارد على المدى الطويل.

من جهة أخرى تعرفها الأمم المتحدة عبر موقعها الرسمي على أنها "طاقة ناتجة عن مصادر طبيعية تتجدد بمعدل يفوق ما يتم استهلاكه. أشعة الشمس والرياح، على سبيل المثال، من المصادر التي تتجدد باستمرار. وإن مصادر الطاقة المتجددة وفيرة وموجودة في كل مكان حولنا. بالمقابل، الوقود الأحفوري (الفحم والنفط والغاز) من الموارد غير المتجددة التي يستغرق تشكيلها مئات الملايين من السنين. ويتسبب الوقود الأحفوري، عند حرقه لإنتاج الطاقة، في انبعاثات ضارة من غازات الدفيئة، مثل ثاني أكسيد الكربون"(Nations, s. d.) . أما المشرع الجزائريفقد عرفها على أنها"مصادر الطاقات المتجددة على أنها كل مصادر الطاقات التي تتجدد بشكل طبيعي أو بفعل بشري، ولا سيما الطاقة الشمسية والريحية والحرارية الجوفية والطاقة المتأتية من تيارات المد والجزر وكذا الطاقات المتأتية من غازات المطارح وغاز محطات تصفية المياه العادمة والغاز العضوي)حنان & محمد, 2022(a.

ب– الطاقة النظيفة

تتمثل السمة المميزة للطاقة النظيفة هي أساسًا أدائها فيما يتعلق بانبعاثات غازات الدفيئة وتلوث الهواء المحلي، ولهذا السبب يشار إليها بهذا الاسم في معظم الأدبيات، على عكس الطاقة المتجددة التي يعتمد تعريفها على سرعة تجديد قاعدة مواردها. يُطلق مصطلح الطاقة النظيفة على مصادر الطاقة والتقنيات التي تنبعث منها انبعاثات أقل بكثير على مدار دورة حياتها الكاملة مقارنة بأنظمة الوقود الأحفوري. في الدراسات التجريبية، تندرج تقنيات الطاقة المتجددة عادةً تحت فئة الطاقة النظيفة. وتشمل مصادر الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية والطاقة الحرارية الأرضية ومصادر الطاقة الحيوية المدارة بشكل مستدام. ومع ذلك، فإن الطاقة المتجددة ليست مصدر الطاقة النظيفة الوحيد. و نظرًا لانخفاض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بشكل كبير وانخفاض انبعاثات ملوثات الهواء بشكل لا يكاد يذكر أثناء التشغيل، تعتبر الطاقة النووية عمومًا مصدرًا للطاقة النظيفة (Piłatowska & Geise, 2021).

تشير الدراسات السابقة أيضا إلى أن ''النظافة'' ليست سمة جوهرية لمصدر الطاقة؛ فهي نسبية على أساس التأثير البيئي الفعلي. كما أن أنظمة الطاقة المتجددة لها تأثيرات بيئية كبيرة، مثل تغيير استخدام الأراضي، وفقدان التنوع البيولوجي، والطلب على المياه، واستخراج المواد. وفقًا ل (Osman et al., 2023)، فإن مشاريع الطاقة الكهرومائية واسعة النطاق، وأنظمة الكتلة الحيوية السيئة الإدارة على وجه الخصوص، على الرغم من كونها متجددة، قد تسبب اضطرابات بيئية واجتماعية خطيرة. من ناحية أخرى، تتمتع بعض المصادر غير المتجددة الأخرى (مثل الطاقة النووية) بأداء جيد من حيث الانبعاثات، ولكنها تواجه مشكلات خطيرة تتعلق بالنفايات المشعة ومخاطر الحوادث والمسؤولية(Dincer & Acar, 2015).

ت– الطاقة منخفضة الكربون

في سياق أبحاث أنظمة المناخ والطاقة، يتم تعريف الطاقة منخفضة الكربون بمفهوم أكثر حصرًامن الطاقة النظيفة، حيث تركز بشكل خاص على انبعاثات غازات الاحتباس الحراري لكل وحدة من الطاقة المفيدة على مدار دورة الحياة. تستخدم معظم الدراسات البحثية مقاييس تقييم دورة الحياة لتفعيل مفهوم مكافئ ثاني أكسيد الكربون لكل كيلوواط/ساعة بالمقارنة مع تقنيات الوقود الأحفوري القياسية(Guidi et al., 2023).توفر هذه المنهجية خيارات متنوعة من تقنيات الطاقة المتجددة والمحطات النووية ومحطات الطاقة التي تعمل بالوقود الأحفوري والمزودة بتقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS)(Proskuryakova, 2023)في بعض الحالات، تعتبر الوقود الاصطناعي وتقنيات تحويل الطاقة إلى X وتحويل النفايات إلى طاقة منخفضة الكربون أيضًا، إما عندما يتم تشغيلها بالكهرباء منخفضة الكربون أو عندما يتم تحقيق كفاءة عالية في الالتقاط (Akinyele & Olabode, 2025). واستنادا الى تحليلات دورة الحياة، تميل طاقة الرياح والطاقة النووية والطاقة الكهرومائية إلى أن تكون أقل كثافة من حيث الكربون، مع انخفاض الطاقة الشمسية الكهروضوئية بشكل كبير عن الفحم والغاز، على الرغم من أنها تتسبب في انبعاثات أعلى قليلاً من بعض الخيارات الأخرى منخفضة الكربون(Sobczuk et al., 2025). لذلك، غالبًا ما تجمع نماذج التقييم المتكاملة ومسارات إزالة الكربون الوطنية بين الخيارات منخفضة الكربون التي تعتمد بشكل أساسي على الطاقة المتجددة والطاقة النووية، على الرغم من اختلاف قواعد مواردها وملامح مخاطرها.

ث– الطاقة المستدامة

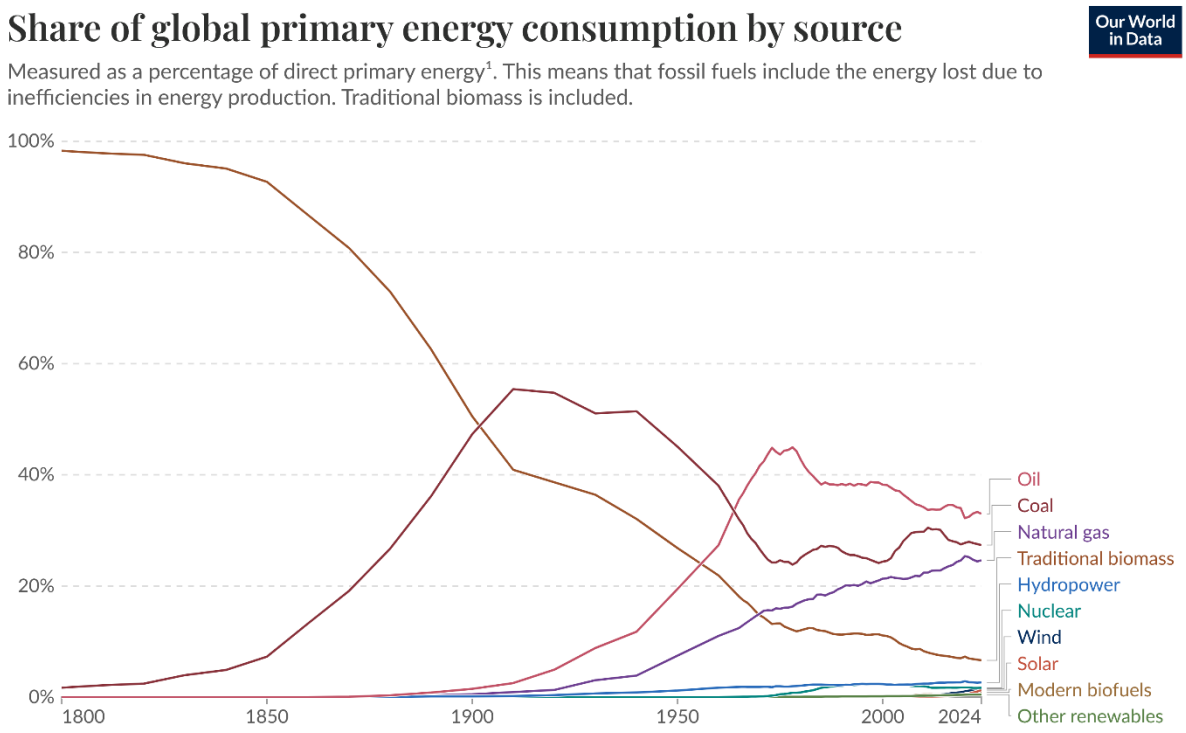
وفقًا لأدبيات التنمية المستدامة، تم تصميم الطاقة المستدامة بالرجوع إلى تعريف برونتلاند للتنمية المستدامة؛ وهي تشير إلى نظام طاقة يمكنه تلبية الاحتياجات الحالية بطريقة ميسورة التكلفة وموثوقة، دون المساس بالبيئة أو الرفاه الاجتماعي أو قدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها.لا تشير الطاقة المستدامة إلى معلمة تقنية معينة، بل إلى خاصية على مستوى النظام، تشمل كيفية إنتاج الطاقة وتوزيعها واستهلاكها وإدارتها بمرور الوقت(Łukasiewicz et al., 2022)للطاقة (SED) لضمان ألا يتجاوز إمداد الطاقة من حيث الكفاية والموثوقية والقدرة على تحمل التكاليف القيود البيئية مع ضمان التنمية الاجتماعية والاقتصادية على المدى الطويل(Olanrewaju, 2023).تجمع الطاقة المستدامة بين الجوانب البيئية والاقتصادية والاجتماعية التي تترابط فيما بينها أو متعددة الأبعاد بدلاً من أن تكون مستقلة(Isabelle dos Santos et al., 2024). من الناحية البيئية، تركز الطاقة المستدامة على تقليل الانبعاثات وتقليل تأثيرات دورة الحياة. يجب أن تكون أنظمة الطاقة المستدامة ميسورة التكلفة وآمنة ومرنة وغنية بالوظائف. فهي تدرك أن الفقر الشديد في الطاقة ضار وبالتالي غير مستدام(Naegler et al., 2021)وفقًا لـ(Androniceanu & Sabie, 2022; Fonseca et al., 2021)فإن الأمر يتعلق اجتماعيًا بالوصول إلى الطاقة الحديثة بأسعار معقولة، وحماية الصحة العامة، فضلاً عن مشاركة المجتمع.من خلال هذا المنظور الأوسع، يمكن تمييز الطاقة المستدامة عن الطاقة المتجددة أو النظيفة أو منخفضة الكربون: فهذه المفاهيم أكثر دقة من حيث الآثار طويلة الأجل بين الأجيال والمفاضلات على نطاق النظام.

2. تصنيف مصادر الطاقة المتجددة وخصائصها

يساعد تصنيف مصادر الطاقة المتجددة في فهم سلوكها التقني وأدائها الاقتصادي وتأثيرها البيئي. هناك أنواع مختلفة من مصادر الطاقة المتجددة مصنفة في الأدبيات أو الوثائق العلمية التي تستند أساسًا إلى طبيعة المورد الأساسي المستخدم لتوليد الطاقة. بعضها

يعتبر طاقة شمسية وطاقة رياح وطاقة مائية وطاقة حيوية وطاقة حرارية أرضية وطاقة بحرية، بينما يعتبر الهيدروجين الأخضر بشكل متزايد ناقلا للطاقة شامل بدلاً من كونه مصدرا أساسيا.

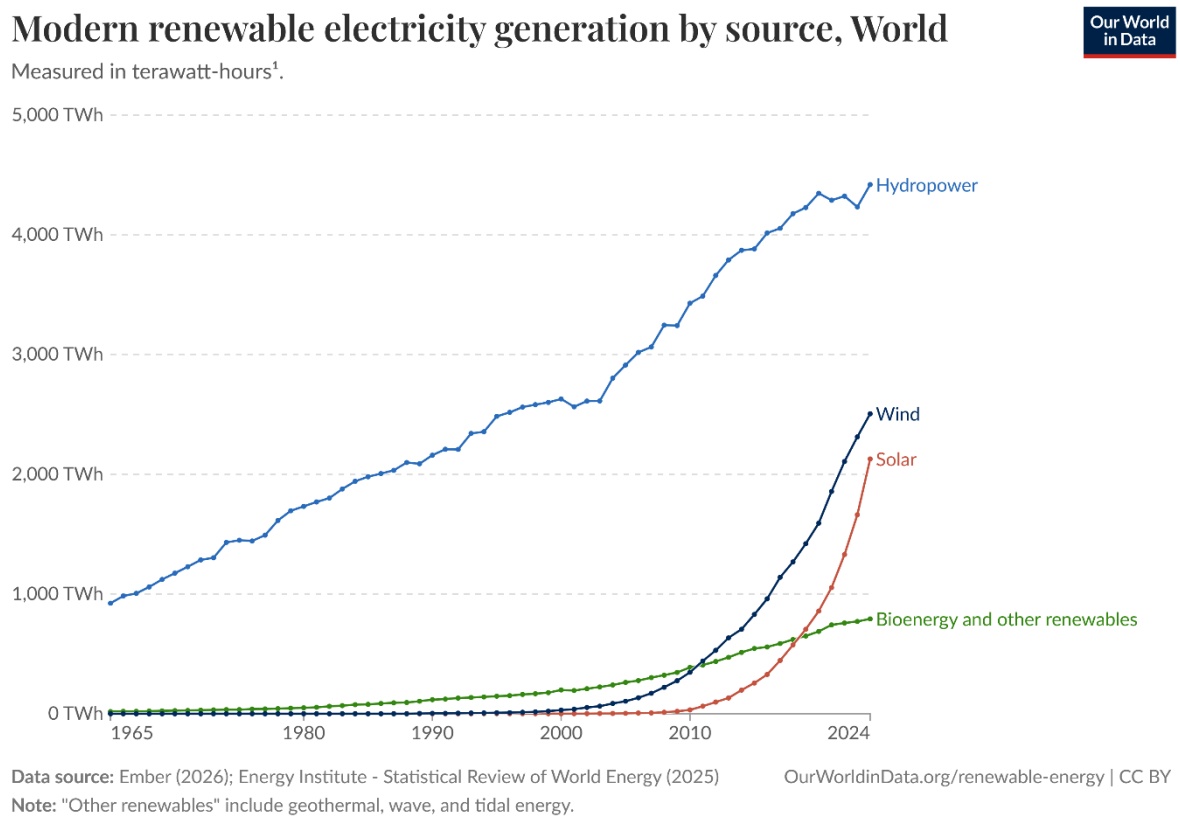
الشكل رقم01: الاستهلاك العالمي للطاقات حسب المصدر



المصدر: Our World in Data, available at: https://ourworldindata.org/renewable-energy Date of visit: 20/01/2026 at 17:30

بغض النظر عن التصنيف النظري، تظهر إحصاءات الطاقة العالمية أن هذه المصادر تساهم بشكل غير متساوٍ في إجمالي الطاقة المتجددة. وفقًا للبيانات الواردة من الوكالة الدولية للطاقة وOur World in Data، كما يمكن أن تُلعب الاختلافات دورا في النشر التاريخي وديناميكيات النمو والنضج التكنولوجي لأنواع الطاقة المتجددة اضافة إلى الموارد وتكاليف الاستثمار وتكامل الأنظمة.زيادة على الدراسات السابقة فان مورد الطاقة الأولي يتيح التصنيف الأساسي للطاقة، كمايظهر المنحنى في الشكل2، الاستهلاك العالمي للطاقة المتجددة حسب المصدر (الطاقة الكهرومائية والرياح والطاقة الشمسية والطاقة الحيوية).

الشكل رقم02: الانتاج العالمي للطاقة من المصادر المتجددة

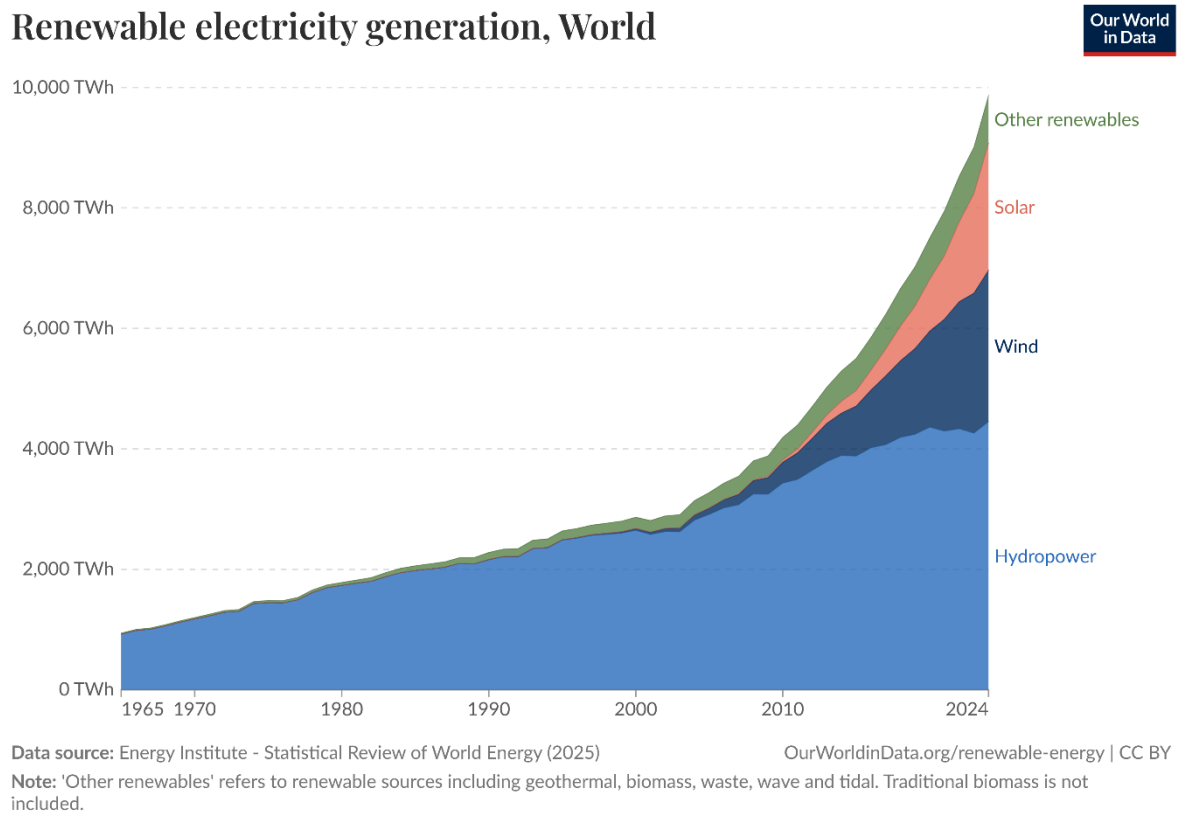


المصدر: Our World in Data, available at: https://ourworldindata.org/renewable-energy Date of visit: 20/01/2026 at 17:30

- **الطاقة الكهرومائية.**

تُظهر إحصاءات الطاقة الدولية باستمرار أن الطاقة الكهرومائية هي الطاقة المتجددة الأكثر استهلاكًا على مستوى العالم. على عكس معظم مصادر الطاقة المتجددة، يتم استخدام الطاقة الكهرومائية منذ فترة طويلة. علاوة على ذلك، فهي فعالة للغاية وتوفر الكهرباء القابلة للتوزيع بفضل الأنظمة القائمة على الخزانات(T.-Z. Ang et al., 2022). تتمتع محطات الطاقة الكهرومائية بعمر طويل وقدرة كبيرة على تحقيق التوازن بين العرض والطلب، مما يجعلها مفيدة لأنظمة الطاقة.

الشكل رقم3: استهلاك الطاقات المتجددة حسب المصدر



المصدر: Our World in Data, available at: https://ourworldindata.org/renewable-energy Date of visit: 20/01/2026 at 17:30

ومع ذلك، على الرغم من أن مشاريع الطاقة الكهرومائية الكبيرة تنبعث منها انبعاثات غازات دفيئة منخفضة على مدار دورة حياتها، إلا أنها تصاحبها آثار بيئية واجتماعية تؤدي إلى اضطراب النظم البيئية بشكل كبير، وإغراق الأراضي وتغيير تدفقات الرواسب (Algarni et al., 2023). تساعد هذه المفاضلات في تفسير الاستهلاك العالمي المتزايد للطاقة المتجددة، الذي يتحول بشكل متزايد إلى تقنيات أخرى.

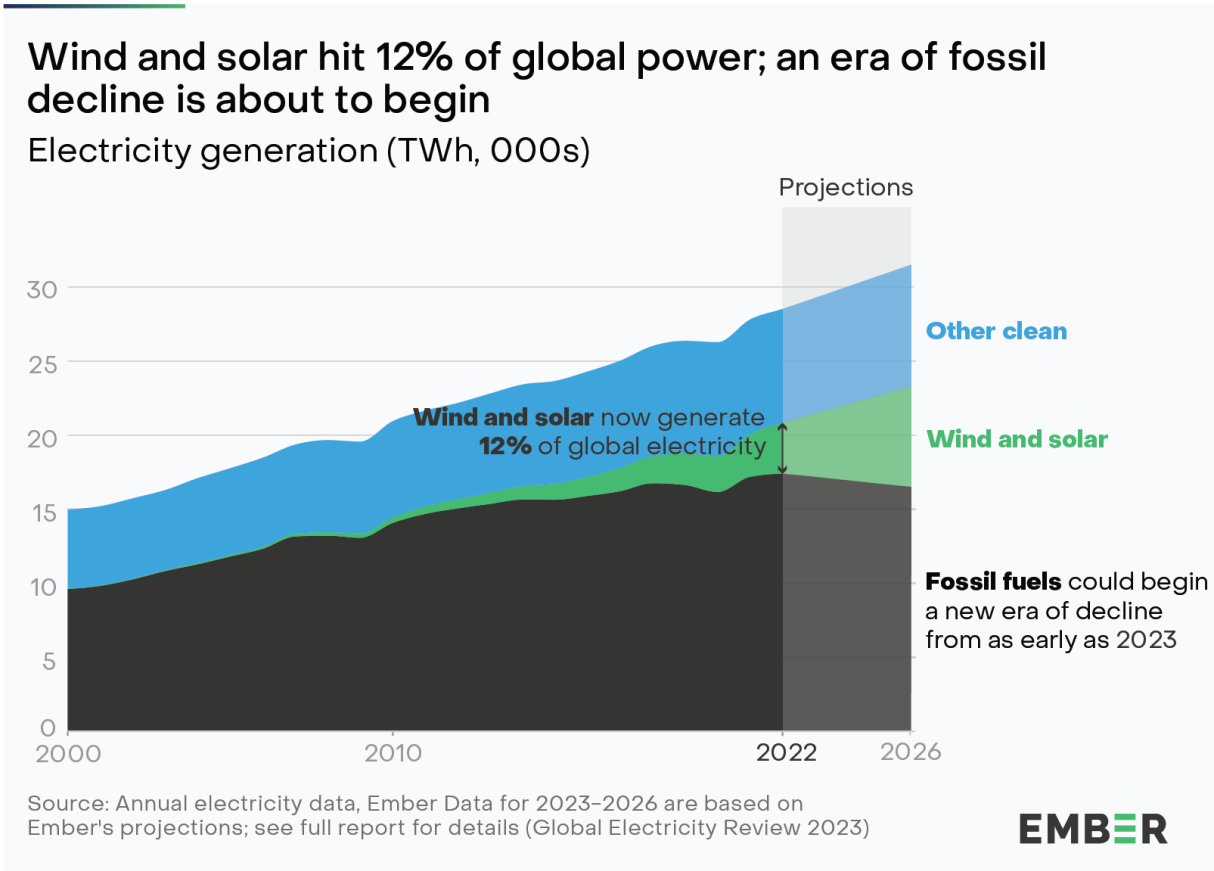
- **طاقة الرياح.**

على الصعيد العالمي، تعد طاقة الرياح من بين التقنيات المتجددة الأكثر تطورًا والأسرع نموًا. وفقًا لاتجاه الاستهلاك الدولي، تشهد طاقة الرياح نموًا مستمرًا منذ عام 2015و ذلك بسبب التحسينات التكنولوجية وانخفاض التكلفة وعائد الطاقة المفضل(Kozechko & Kozechko, 2024).

طاقة الرياح متغيرة بطبيعتها. وهذا يعني أنها تعتمد على الظروف الجوية أو الأرصاد الجوية. لذلك، هناك حاجة إلى الوصول إلى مرونة الشبكة لاستيعاب هذه القضايا. كما أن التخزين يعد ضروريا لطاقة الرياح. تشير تكاليف التوليد المنخفضة إلى جانب الانبعاثات التشغيلية الضئيلة إلى أنها واحدة من أكثر مصادر الطاقة المتجددة جاذبية من الناحية الاقتصادية والبيئية (Gayen

et al., 2024). المشكلات البيئية المتمثلة في التداخل البصري والأضرار التي تلحق بالحياة البرية هي مشكلات محلية وترتبط بسياق معين(Balali et al., 2017).

الشكل رقم04: الزيادة السريعة في استهلاك الطاقة الشمسية والرياح على النطاق العالمي.



المصدر:

World Economic Forum, availableat:https://www.weforum.org/stories/2023/04/wind-solar-record-global-energy-transition-17-april/ Date of visit: 20/01/2026 at 18:00

- **الطاقة الشمسية**

توضح بيانات الاستهلاك الحديثة أن الطاقة الشمسية (التكنولوجيا الكهروضوئية أو PV) هي أسرع مصادر الطاقة المتجددة نموًا في العالم. نظرًا لقابليتها للتعديل والتوسع وملاءمتها للتوليد اللامركزي، كما انها تشهد توسعًا سريعًا (Halkos & Gkampoura, 2020).

يمكن لمصدر الطاقة الشمسية أن ينمو بمعدل هائل. ومع ذلك، فإن طبيعته المتقطعة والدورية تحد من ثقتنا بهذا المصدر. لا تزال تكاليف الاستثمار الأولية مرتفعة على الرغم من انخفاضها الحاد في السنوات العشر الماضية، مما يجعلها أكثر تنافسية مقارنة بمصادر الطاقة المتجددة الأخرى(Abildtrup & Alminde, 2024). على الرغم من أن الآثار البيئية لمحطة الطاقة الشمسية المركزة

أثناء التشغيل قد لا تكون كبيرة، إلا أنها قد تنطوي على قضايا تتعلق باستخدام الأراضي والطلب على المواد وإدارة النفايات في نهاية العمر الافتراضي.(Rahman et al., 2022)

- **الطاقة الحيوية.**

تشير الطاقة الحيوية إلى تقنيات الكتلة الحيوية والغاز الحيوي التي يمكن أن توفر طاقة قابلة للتحكم مماثلة لمحطات الطاقة الحرارية التقليدية (Alhijazi et al., 2023). في العديد من المناطق، خاصة تلك التي توجد بها مخلفات زراعية أو تدفقات نفايات عضوية يمكن الوصول إليها، و بهذا يمكن أن تساهم بشكل كبير في استهلاك الطاقة المتجددة.ومع ذلك، فإن استدامة الطاقة الحيوية مشروطة إلى حد كبير. يعتمد الأداء الفعلي للوقود الحيوي فيما يتعلق بالبيئة على مصادر المواد الخام وتغيير استخدام الأراضي وكذلك الانبعاثات في سلسلة التوريد. (Maradin, 2021) وفقًا لـ(Panwar et al., 2011)يمكن أن تؤدي الممارسات غير المستدامة إلى إزالة الغابات وفقدان التنوع البيولوجي وتلوث الهواء وما إلى ذلك، مما يلغي فوائدها البيئية.

- **الطاقة الحرارية الأرضية.**

تشتهر الطاقة الحرارية الأرضية بقدراتها العالية وقدرتها على توفير طاقة أساسية مع انبعاثات منخفضة(Gayen et al., 2024). يمكن للأنظمة الحرارية الأرضية توفير كهرباء موثوقة ومنخفضة التكلفة لفترات طويلة عندما تكون الظروف الجيولوجية مواتية.

ومع ذلك، لا تزال المساهمة العالمية للطاقة الحرارية الأرضية في استهلاك الطاقة المتجددة صغيرة، ويرجع ذلك أساسًا إلى خصوصية الموقع وارتفاع تكاليف الاستكشاف والمخاطر (مثل الزلازل المستحثة) (Abildtrup & Alminde, 2024).

- **طاقة البحر.**

لا تزال مصادر الطاقة المتجددة المستمدة من المحيطات، بما في ذلك الطاقة المدية والطاقة الموجية والأنظمة الحرارية للمحيطات، قابلة للاستغلال إلى حد كبير. تتمتع هذه التقنيات، وخاصة الطاقة المدية، بقدرة عالية على التنبؤ. ومع ذلك، لا تزال مساهمتها في إجمالي الاستهلاك منخفضة للغاية، حيث أن هذه التقنيات لم تنضج بعد وتحتاج إلى الكثير من رأس المال وتكاليف الصيانة Rahman). et al., 2022)

الخصائص المشتركة لمصادر الطاقة المتجددة تنوع مصادر الطاقة المتجددة وخصائصها المشتركة والأهم من ذلك أنها ترتبط بانبعاثات غازات دفيئة تشغيلية منخفضة للغاية، وأمن الطاقة، وتؤدي إلى الابتكار وخلق فرص العمل مما يؤدي إلى التنمية الاقتصادية المستدامة(Algarni et al., 2023).

من ناحية أخرى، فإن القيود الأكثر شيوعًا هي متطلبات الاستثمار الرأسمالي المرتفعة، واستخدام الأراضي والموارد، اما بالنسبة للطاقة الريحية والطاقة الشمسية، التقطع هو الذي يتطلب تعزيز الشبكة وتخزين الطاقة ,Kozechko & Kozechko).

(2024غالبًا ما تصنف تقييمات الاستدامة طاقة الرياح والطاقة الحرارية الأرضية وتوليد الطاقة كأحد أكثر الخيارات استدامة. ومع ذلك، فإن التصنيفات تعتمد بشكل كبير على الموقف(Abildtrup & Alminde, 2024).

3. استخدام وتجارة الطاقة المتجددة.

يشير الاتجاه العالمي لاستهلاك الطاقة المتجددة وتجارتها إلى أن هناك تحولًا جاريًا في نظام الطاقة الدولي. خلال العشرين عامًا الماضية، نما استخدام الطاقة المتجددة بشكل هائل بفضل التقدم التكنولوجي والسياسات المختلفة والمخاوف البيئية. ومع ذلك، فإن هذا التوسع غير متكافئ بين المناطق والقطاعات، في حين لا تزال الوقود الأحفوري يهيمن على مزيج الطاقة العالمي. تشير الأدبيات إلى أن سياسة الطاقة ليست عاملاً رئيسيًا في انتشار الطاقة المتجددة. فهناك عوامل أخرى مثل النمو الاقتصادي والعولمة والتجارة الدولية التي تؤثر أيضًا على انتشار الطاقة المتجددة في البلدان.

- **الاتجاهات العالمية في استهلاك الطاقة المتجددة**

وفقًا للأدلة المستمدة من مصادر مختلفة، زاد الاستهلاك العالمي للطاقة المتجددة بشكل كبير، ولكن هذه الزيادة لم تؤدِ بعد إلى إعادة هيكلة كبيرة لنظام الطاقة. من عام 2000 حتى عام 2014، زاد استخدام الطاقة المتجددة في جميع أنحاء العالم من 57.8 إكساجول (EJ) إلى 79.9 إكساجول. وظلت حصة الطاقة المتجددة في الاستهلاك النهائي للطاقة عند حوالي 10٪ خلال هذه الفترة. وهذا يشير إلى أن الوقود الأحفوري لا يزال يحتل مكانة مهيمنة(Dietzenbacher et al., 2020). ويشير هذا الاتجاه إلى أن النمو الإجمالي للطاقة المتجددة في الأيام الأولى عزز الطلب الإجمالي على الطاقة بدلاً من استبدالها.

ومن المتوقع أن يشهد العقد القادم تسارعًا أكبر. بين عامي 2012 و2021، نمت كمية الطاقة المتجددة الأولية التي تستهلكها البلدان بأربعة أضعاف تقريبًا، حيث ارتفعت من 0.24 إلى 0.95 جيجا طن نفط مكافئ، في حين ارتفعت حصة الطاقة المتجددة في توليد الكهرباء العالمي من 7.4٪ في عام 2016 إلى 12.8٪ في عام 2021(Yolcan, 2023). وقد ساهم في تسريع هذا التقدم انخفاض أسعار التكنولوجيا، وأطر السياسات القوية، وارتفاع الطلب على الكهرباء، خاصة في البلدان الأقل نمواً.

تسلط الأدبيات الضوء على منتصف العقد الأول من القرن الحادي والعشرين باعتباره منعطفًا رئيسيًا في نشر الطاقة المتجددة. ويُظهر تحليل التحلل الهيكلي أن استهلاك الطاقة المتجددة بدأ ينمو بمعدل سريع منذ حوالي عام 2007، وقد استحوذت القطاعات الصناعية على حصة كبيرة من هذا النمو(Dietzenbacher et al., 2020). كمال يشهد الاتحاد الأوروبي والصين والهند والعديد من دول أمريكا اللاتينية معدلات نمو قوية بسبب تطور الصناعة وأمن الطاقة والالتزامات المتعلقة بسياسات المناخ (S. T. Hassan et al., 2022).

- **التفاوتات بين المستهلكين وتقاربها والعوامل الرئيسية الدافعة لها**

حتى لو كان هناك نمو إجمالي في استهلاك الطاقة المتجددة، فقد لا تكون الحالة وردية للغاية بالنسبة لكل بلد. يُظهر التحليل طويل الأجل للفترة 1990–2020 أن هناك ناديين للتقارب يضمان 39 بلدًا إلى جانب مستهلكين متباينين بشكل كبير (لا سيما الولايات المتحدة والصين)(Xu et al., 2024). لم تتقارب التفاوتات العالمية إلى نمط موحد، بل ازدادت بمرور الوقت فيما يتعلق باستهلاك الطاقة المتجددة بسبب التباين المتزايد داخل الاقتصادات غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (Xu et al., 2024)

في البلدان التي شملتها الدراسة، يعد النمو الاقتصادي المؤشر الرئيسي لاستهلاك الطاقة المتجددة. ويستند الطلب على الطاقة المتجددة في البلدان النامية والناشئة التي تشهد تصنيعًا سريعًا بشكل أساسي إلى نمو الناتج المحلي الإجمالي(Xu et al., 2024). وتكمل العوامل المتعلقة بالعولمة ما سبق بطريقة ديناميكية غير خطية. كما أدت المراحل المبكرة من العولمة إلى انخفاض استخدام الطاقة المتجددة، لكن الأدلة الحديثة تظهر أن الابتكار التكنولوجي والتوجه نحو التصدير وزيادة الاندماج في الاقتصاد العالمي ساهم في دعم استهلاك الطاقة المتجددة اعتبارًا من عام 2014 فصاعدًا(Ghazouani, 2022).

تم تحليل الاستخدام العالمي للطاقة المتجددة من عام 2000 إلى عام 2014 لإبراز هيمنة العوامل المحركة للطلب. كان العامل الأكثر أهمية في النمو هو زيادة استهلاك الفرد من الطاقة المتجددة، يليه النمو السكاني. كانت المساهمة المباشرة للتحول الطاقي، الذي يُعرّف بأنه الاستبدال من الوقود الأحفوري إلى الطاقة المتجددة، محدودة إلى حد ما، ولم تسهم التغيرات في أنماط التجارة إلا بشكل هامشي(Dietzenbacher et al., 2020). ووفقًا لهذه النتائج، كان نمو الطاقة المتجددة خلال هذه الفترة مدفوعًا بتوسع النشاط الاقتصادي أكثر من التغيير الهيكلي العميق في أنظمة الطاقة.

- **التجارة الدولية في سلع الطاقة المتجددة**

في الوقت نفسه الذي يرتفع فيه الاستهلاك، تنمو التجارة الدولية في منتجات وتقنيات الطاقة المتجددة بسرعة أيضًا. تجاوزت التجارة العالمية في منتجات الطاقة المتجددة 320 مليار دولار أمريكي في عام 2019 وشملت حوالي 224 دولة، مما يشير إلى مستوى عالٍ من التكامل الدولي(J. Li et al., 2023). وفقًا للتحليلات القائمة على الشبكات، تطورت تجارة الطاقة المتجددة إلى هياكل أكثر ترابطًا واتصالًا تعكس خصائص العالم الصغير. علاوة على ذلك، تظهر التجارة أيضًا هيكلًا أساسيًا–طرفًا وزيادة في التبادلية (Feng et al., 2024; Li et al., 2023).

تقع مجموعة صغيرة من البلدان، تضم الولايات المتحدة وألمانيا والصين واليابان، في مركز التجارة العالمية للطاقة المتجددة. ومع ذلك، فإن معظم التجارة تتم داخل القارات وأعضاء شبكات التجارة المتعددة الأطراف مثل APECو WTO (Feng et al., 2024; Li et al., 2023). على الرغم من النمو، فإن التغييرات في هيكل التجارة تمثل جزءًا صغيرًا من الاستهلاك العالمي للطاقة المتجددة. وفقًا لتحليل التحليل الهيكلي، لم يؤد تأثير التجارة إلا بشكل هامشي إلى زيادة استخدام الطاقة المتجددة العالمية بين عامي 2000 و 2014. وقد حدث ذلك لأن الزيادات في الصادرات قابلتها كميات متساوية من الواردات على النطاق

العالمي (Dietzenbacher et al., 2020). وفي هذا الصدد، فقد غيّرت التجارة الانتشار الجغرافي لاستخدام الطاقة المتجددة بدلاً من تعزيز استخدامها العالمي.

المبحث الثاني: التحول الطاقوي

المطلب الأول: تعريف التحول الطاقوي

يُمكن تعريف التحول الطاقوي على أنه عملية تحول هيكلية وديناميكية طويلة الأجل، تهدف إلى إعادة تشكيل أنظمة الطاقة من نموذج قائم على الوقود الأحفوري إلى نظام طاقوي منخفض الكربون وعالي الكفاءة، يعتمد بشكل أساسي ومتزايد على مصادر الطاقة المتجددة. ولا يقتصر هذا التحول في جوهره على مجرد استبدال المصادر التقليدية بأخرى نظيفة، بل يمثل تغييراً منظومياً شاملاً في بنية النظام الطاقوي من خلال إزالة الكربون من استخدامات الوقود الأحفوري، وتعزيز كفاءة استخدام الطاقة عبر النظام بأكمله (Zhou et al., 2023).كما تتسع رقعة هذا التحول لتمتد إلى مختلف القطاعات الاقتصادية الحيوية، بما في ذلك إنتاج الكهرباء، والنقل، والصناعة، والمباني، واستخدامات الأراضي، حيث يتطلب هذا المسار إدماج حلول تكنولوجية وهيكلية متكاملة(Tian et al., 2022).

ويرتكز نجاح هذا المسار على تضافر عدة مكونات أساسية تعمل كركائز للتحول؛ تبدأ من الدور القيادي للطاقات المتجددة كبديل لتوليد الطاقة التقليدية(Q. Hassan et al., 2024) ، مروراً ببرامج كفاءة الطاقة وترشيد الاستهلاك التي تساهم في خفض نمو الطلب والتكاليف المرتبطة به(Odunayo Adewunmi Adelekan et al., 2024)، وصولاً إلى استراتيجيات الكهربة الشاملة لقطاعي النقل والتدفئة، وتفعيل آليات تسعير الكربون لخلق حوافز اقتصادية تدعم الخيارات النظيفة (Qadir et al., 2021; Luo et al., 2021). ورغم أن النماذج العالمية تؤكد الإمكانية التقنية والاقتصادية للوصول إلى نظام يعتمد كلياً على الطاقة المتجددة بحلول منتصف القرن، إلا أن ذلك يتطلب تسريع وتيرة إنتاج الطاقة المتجددة بنحو 6 إلى 8 أضعاف مقارنة بمستويات عام 2020، مع تبني سياسات وقائية قوية لمواجهة عوائق التمويل ومصالح الأطراف التقليدية المهيمنة(Aghahosseini et al., 2023).

وفي الختام، يعكس التحول الطاقوي طبيعة نظامية معقدة ومتعددة الأبعاد، تتداخل فيها الابتكارات التكنولوجية مع الأطر التنظيمية والظروف الاقتصادية والمؤسسية. ويهدف هذا المسار في جوهره إلى تحقيق توازن دقيق بين تلبية الاحتياجات المتنامية من الطاقة ودعم التنمية المستدامة، مع ضمان مبدأ "عدالة الطاقة" الذي يكفل توزيع الفوائد وحماية الفئات والعمال الأكثر عرضة للتأثر بهذا الانتقال (Akinwale Ishola, 2024). وبذلك، يظل التحول الطاقوي مساراً حتمياً يتطلب تعاوناً دولياً وتخطيطاً استراتيجياً متكاملاً لضمان الوصول إلى نظام طاقوي مستدام وقادر على الحد من الآثار السلبية للتغير المناخي (Odunayo Adewunmi Adelekan et al., 2024)

المطلب الثاني: دوافع التحول نحو الطاقات المتجددة

يعد التحول من أنظمة الطاقة القائمة على الوقود الأحفوري إلى الطاقة المتجددة من أهم التغييرات الهيكلية في الاقتصادات الحديثة. ولا يعود هذا التغيير إلى سبب واحد، بل هو نتيجة للعديد من الأسباب البيئية والاقتصادية والسياسية والاجتماعية والجيوسياسية.

وتشير الدراسات الحديثة إلى أن انتشار الطاقة المتجددة يتشكل من خلال عوامل محفزة وقيود وآليات التغذية الراجعة التي تؤدي إلى مسارات انتقالية غير متجانسة حسب البلد والمنطقة. على الرغم من الاختلافات بين المؤلفين، تتفق الدراسات المتزايدة على نفس العوامل الأساسية التي يؤدي تطبيقها إلى التحول عالميًا إلى الطاقة المتجددة.

1. الدوافع البيئية:

تقود الأسباب البيئية لانتقال العالم نحو مستقبل الطاقة المتجددة بطريقة قوية. ونوضح ايضا ان غازات الدفيئة الناتجة عن الأنشطة البشرية ترجع أساسًا إلى صناعات الفحم والنفط ينبعث مما يترتب عنه انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون وغازات أخرى ناتجة عن حرق الفحم والنفط. وتنتج معظم هذه الانبعاثات عن حرق الوقود الأحفوري بغض النظر عن استخدامه. ويؤدي تراكم هذه الغازات في الغلاف الجوي لفترات طويلة إلى تعزيز تأثير الاحتباس الحراري، مما يرفع درجات الحرارة في جميع أنحاء العالم ويسبب آثارًا أخرى مثل ارتفاع منسوب مياه البحر.

تشير الدراسات العلمية المتزايدة إلى التحذير من أن مسارات الاستهلاك الحالية للوقود الأحفوري تتعارض مع الأهداف المناخية، بحيث تظهر تحليلات ميزانية الكربون إلى أن الحد من الاحترار إلى 1.5 درجة مئوية أو 2 درجة مئوية فوق مستويات ما قبل العصر الصناعي يتطلب انخفاضًا سريعًا في استخدام الوقود الأحفوري وزيادة مقابلة في الطاقة المتجددة.(Holechek et al., 2022) وبالتالي، يتبين أن الطاقة المتجددة هي استراتيجية تخفيف رئيسية يمكنها إزالة الكربون من توليد الكهرباء مع الاستمرار في زيادة الطلب العالمي على الطاقة. كما تعزز الاتفاقيات الدولية المتعلقة بالبيئة هذا المحرك البيئي من خلال تحويل النتائج العلمية إلى التزام سياسي. ويشدد اتفاق باريس وأهداف التنمية المستدامة، ولا سيما الهدف 7 (الطاقة النظيفة وبأسعار معقولة) والهدف 13 (العمل المناخي)، على ضرورة قيام الدول بتوسيع نطاق الطاقة المتجددة تدريجياً وتقليل مخاطر الوقود الأحفوري (Bashir et al., 2024)من خلال تعزيز التخطيط طويل الأجل، وتحسين اتساق السياسات، وتقوية شرعية سياسات الطاقة المتجددة المحلية، تعزز هذه الاتفاقيات الاستراتيجيات الوطنية للطاقة في الدول.

تواجه الشركات ضغوطًا متزايدة لحماية التنوع البيولوجي والنظم الإيكولوجية، كما هو الحال في أوروبا. وقد أظهرت الدراسات التجريبية على نطاق واسع أن حرق الفحم والنفط ووقود الكتلة الحيوية يؤدي إلى انبعاث ملوثات تؤثر بشكل خطير على جودة الهواء وتضر بصحة الإنسان (Yu Yanf، 2024). تنتج حالات مرضية مرتبطة بالالتهابات مثل أمراض الجهاز التنفسي والدورة الدموية إلى جانب التهاب القصبات المزمن وسرطان الرئة و هذا نتيجة التعرض الطويل الأمد للهواء الملوث. علاوة على ذلك، يموت ملايين الأشخاص مبكرًا كل عام بسبب هذه الأمراض. تتجلى التكاليف الاجتماعية والاقتصادية لهذه الآثار في شكل خسارة في إنتاجية العمل، وإنفاق على الرعاية الصحية، وما إلى ذلك.يمكن أن تساعد تقنيات الطاقة المتجددة في الحد من هذه الآثار السلبية الخارجية. إن توليد الكهرباء من خلال الحد الأدنى من الانبعاثات المباشرة يقلل من ملوثات الهواء المحلية وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري في الوقت نفسه. وفقًا للأدلة التجريبية، فإن الانتقال إلى أنظمة الطاقة النظيفة يقلل بشكل كبير من 2.5PM و 2CO. علاوة على ذلك، فإن هذا يحسن جودة الهواء ويخلق فائدة مشتركة ضخمة في مجال التخفيف من آثار تغير المناخ

والصحة العامة (Yu Yanf، 2024). على سبيل المثال، تشير الأدلة المستمدة من تحول الطاقة السكنية في الصين إلى أن استبدال الطاقة القائمة على الفحم بطاقة أنظف أو أكثر خضرة أدى إلى تجنب الوفيات المبكرة لملايين الأشخاص وتحسين النتائج الصحية للسكان.

وفي الوقت نفسه، تقر الدراسات بأن نشر مصادر الطاقة المتجددة قد يخلق تحديات بيئية جديدة. يمكن أن تؤدي مشاريع طاقة الرياح والطاقة الشمسية واسعة النطاق إلى نزاعات حول استخدام الأراضي ومشاكل التنوع البيولوجي وزيادة الطلب على المعادن (2024Yu Yanf). يمكن أن تؤثر طاقة الرياح على الطيور، بينما قد تؤثر مزارع الطاقة الشمسية على استخدام الأراضي والنظم البيئية. فقد أظهرت الدراسات الحديثة أن التخطيط الدقيق للتنمية في المراحل الأولى، والرقابة التنظيمية، واختيار المواقع بشكل منهجي سيساعد في الحد من هذه المخاطر، مما يسمح بتوسيع قطاع الطاقة المتجددة لتحقيق الأهداف المناخية دون إلحاق ضرر جسيم بالبيئة.بشكل عام، تمارس العوامل البيئية – الأهداف المناخية والحد من التلوث، فضلاً عن الالتزامات الدولية – ضغوطاً على الحكومات والأسواق لتسريع استخدام الطاقة المتجددة.

2. الدوافع الاقتصادية والتكنولوجية

تعد الديناميكيات الاقتصادية والتكنولوجية القوة الدافعة الثانية الرئيسية للتحول في مجال الطاقة. من خلال الابتكار التكنولوجي، و توفر الحجم، والتعلم التراكمي من خلال الممارسة ،انخفضت تكاليف تقنيات الطاقة المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح، بشكل كبير خلال العقدين الماضيين (Q. Hassan et al., 2024).أدى انخفاض التكاليف إلى تغيير القدرة التنافسية الاقتصادية للطاقة المتجددة، مما جعلها أكثر قابلية للمقارنة، وفي كثير من الحالات، أرخص من توليد الكهرباء القائم على الوقود الأحفوري.

في السنوات الأخيرة، انخفضت تكاليف الطاقة المتجددة بشكل كبير، مما أثر على حصة كبيرة من الاستثمارات في التقنيات منخفضة الكربون، كما أدى إلى تقليل المخاطر المالية المرتبطة بنشر الطاقة المتجددة Gan et al (Gan et al., 2023). مع ازدياد تنافسية أسعار الطاقة المتجددة، أصبحت حوافزها السوقية أكثر توافقًا مع الأهداف البيئية، مما أدى إلى دورة إيجابية حيث أدى زيادة استخدامها إلى مزيد من خفض التكاليف وتحسين التكنولوجيا(Gielen et al., 2019). وقد تم تحديد الآلية التي تسهل بشكل كبير انتشار الطاقة المتجددة في مختلف الظروف الاقتصادية.

التقدم في تقنيات التوليد هو مجرد جزء من القصة المحتملة. قد تشمل مجالات التقدم الأخرى الشبكة المتكاملة وتخزين الطاقة وأنظمة الطاقة الرقمية الأخرى. كما هو موضح في الابحاث، فإن إزالة الكربون بشكل عميق تتطلب توسعًا هائلاً في الطاقة المتجددة بالإضافة إلى تحسن هائل بنفس القدر في كفاءة الطاقة والحفاظ عليها(Sgouridis et al., 2016) .عند توظيف تقنيات أكثر كفاءة في استخدام الطاقة، ينخفض إجمالي الطلب على الطاقة، مما يؤدي بدوره إلى تقليل الضغط على البنية التحتية. علاوة على ذلك، يمكن دمج كميات كبيرة من الطاقة المتجددة المتغيرة في أنظمة الطاقة.

وفقًا للدراسات الاقتصادية الكلية، يرتبط الانتقال إلى الطاقة المتجددة بشكل إيجابي على النمو. أشارت العديد من الدراسات إلى العلاقة الإيجابية بين استهلاك الطاقة المتجددة والنمو الاقتصادي على المدى القصير والطويل. علاوة على ذلك، هناك فرضية تفاعلية بين استخدام الطاقة النظيفة وتنمية الاقتصاد (Yu Yanf، 2024؛ Pata&Balcilar ، 2024). مع تنويع الطاقات المتجددة، تصبح البلدان أقل عرضة لتقلبات أسعار الوقود الأحفوري وأقل عرضة لصدمات الإمدادات الخارجية.

وتتعزز الأسباب الاقتصادية بسبب الانتقال إلى الطاقة المتجددة وذلك بفضل آثارها على التوظيف. قد يؤدي التخلص التدريجي من الوقود الأحفوري إلى فقدان بعض الوظائف في الصناعات كثيفة الكربون، ولكن استخدام الطاقة المتجددة قد يخلق العديد من الوظائف الجديدة في مجالات التصنيع والتركيب والتشغيل والصيانة (Yu Yanf، 2024). تشير التقديرات الواردة في الأدبيات إلى أن تدابير التخفيف من آثار تغير المناخ، بما في ذلك استخدام الطاقة النظيفة، يمكن أن تخلق ما يصل إلى 24 مليون وظيفة، في حين أن خسائر الوظائف في قطاع الوقود الأحفوري ستكون أقل بكثير. ومع ذلك، حذر الباحثون من أن فوائد التوظيف قد تكون موزعة بشكل غير متساوٍ بين المناطق والمهارات. وهذا يشير إلى أهمية إعادة التأهيل والتدريب، فضلاً عن سياسة الانتقال العادل.

ومع ذلك، فإن العوامل الاقتصادية والتكنولوجية لها حدودها. تظهر الأبحاث أن انخفاض أسعار الوقود الأحفوري، والقيود التكنولوجية الناجمة عن التقطع والتخزين، ومشاكل توريد المواد يمكن أن تبطئ استخدام الطاقة المتجددة على المدى القصير (Holechek et al., 2022; Doğan et al., 2024). وتشير النتائج إلى أن الأطر السياساتية والمؤسسية التكميلية تلعب دوراً مهماً في الاستفادة الكاملة من إمكانات المحركات الاقتصادية والتكنولوجية.

3. الدوافع السياساتية والمالية:

تعد الأطر السياساتية والمالية عاملاً حاسماً يؤثر على سرعة وعمق التحول إلى الطاقة المتجددة. وقد أدى انخفاض التكاليف والتقدم التكنولوجي إلى تعزيز القدرة التنافسية للطاقة المتجددة. ومع ذلك، تثبت الدراسات باستمرار أن قوة السوق وحدها لا يمكنها تحقيق إزالة الكربون بسرعة وعلى نطاق واسع دون تدخل سياسي مستدام وذي مصداقية (Gielen et al., 2019; Ishola, 2024). إن اعتماد أنظمة الطاقة على المسار المتبع، وجمود البنية التحتية، وترسخ مصالح الوقود الأحفوري، كلها عوامل تستلزم وجود حوكمة عامة قوية.

حددت الأدبيات تسعير الكربون، بما في ذلك ضرائب الكربون وبرامج تداول الانبعاثات، كأحد الأدوات السياساتية المركزية. الهدف من تسعير الكربون هو إضفاء الطابع الداخلي على التكلفة الاجتماعية للكربون بهدف زيادة السعر النسبي للطاقة القائمة على الوقود الأحفوري و ذلك لتحسين القدرة التنافسية لتقنيات الطاقة المتجددة (Zeppini & van den Bergh، 2020 ؛ Omri &Jabeur، 2024؛ Purohit & Baxi ، 2025). تشير الدراسات إلى أن الضرائب البيئية وتسعير الكربون يمكن أن يحفزى على استخدام الطاقة المتجددة في البلدان التي تتمتع بجودة تنظيمية وقدرة مؤسسية قوية (Purohit and Baxi 2025؛ Omri and Jabeur 2024). وفي الوقت نفسه، فإنها تؤدي إلى نتائج مختلفة جدًا بين البلدان بسبب الاختلافات في تصميم السياسات وتغطيتها وتنفيذها ومقبوليتها السياسية.

وبصرف النظر عن تسعير الكربون، يجب أن تدعم الأدوات التنظيمية (مثل معايير محفظة الطاقة المتجددة، وتعريفات التغذية، والمزادات)، إلى جانب الاستثمار العام المباشر، نشر الطاقة المتجددة بشكل أسرع. وتقليل السياسات مثل تعريفات التغذية واتفاقيات شراء الطاقة من عدم اليقين في الاستثمار من خلال توفير إشارات أسعار طويلة الأجل، وضمان الوصول إلى الأسواق، وتدفقات إيرادات يمكن التنبؤ بها لمنتجي الطاقة المتجددة. وكما ورد في الأدبيات، فإن أحد أهم جوانب السياسة هو الاستقرار والمصداقية، حيث أن التغيير المتكرر للسياسة أو التغييرات بأثر رجعي يمكن أن يؤثر على ثقة المستثمرين، مما يؤدي إلى إبطاء عملية الانتقال (Ishola، 2024).

تتأثر فعالية أدوات السياسة بشكل كبير بجودة المؤسسات وقدرتها على الحوكمة. وقد أشارت دراسات سابقة إلى أن الاستقرار السياسي أو غياب العنف، وجودة التنظيم، ومكافحة الفساد، والمساءلة من خلال المؤسسات الديمقراطية تعزز فعالية سياسات الطاقة المتجددة (Liu et al., 2023; Pata&Balcilar, 2024; Zahid et al ,.. 2025). تميل سياسات الطاقة في البلدان التي تتميز بمؤسسات ضعيفة أو حوكمة مجزأة إلى أن تكون غير متسقة أو سيئة التنفيذ أو خاضعة للتدخل السياسي، وبالتالي تفتقر إلى الفعالية (Aghonifo،2021؛ Ishola ، 2024). في المناطق التي تعتمد على الوقود الأحفوري، على سبيل المثال، قد تقاوم المصالح الخاصة هذه الأنشطة. ربما يكون معارضة إصلاح السياسات بسبب الترتيبات الاقتصادية والسياسية الواضحة.

التنمية المالية مكملة للتحول المدفوع بالسياسات وتساويه في الأهمية. تتطلب مشاريع الطاقة المتجددة تكاليف كبيرة للتركيب، على الرغم من أن تكاليف تشغيلها منخفضة نسبيًا. يلزم وجود أسواق مالية أعمق، وإمكانية الوصول إلى التمويل، وتوافر أدوات الاستثمار الأخضر لتوسيع نطاق استخدام الطاقة المتجددة (Gan et al؛ Bashir et al 2023؛Omri &Jabeur 2024).

على العكس من ذلك، قد يتعثر اعتماد الطاقة المتجددة بشكل كبير إذا كان الوصول إلى التمويل محدودًا، وتكاليف رأس المال مرتفعة، والنظم المالية غير سليمة، خاصة في الاقتصادات النامية. من المحتمل أن تؤدي البنية التحتية المالية غير الكافية إلى إعاقة المشاريع عن تحقيق النطاق التجاري، حتى في الحالات التي تتوفر فيها مصادر متجددة بكثرة وتكون الأهداف السياساتية جريئة وطموحة (Bashir et al., 2023; Omri &Jabeur, 2024).

بشكل عام، تعمل هذه المحركات السياساتية والمالية بطريقتين: تقليل مخاطر الاستثمار، وتصحيح إخفاقات السوق، وتعبئة رأس المال بالقدر اللازم للتحول النظامي. تميل البلدان التي لديها أطر تنظيمية موثوقة ومؤسسات قوية وأنظمة مالية متطورة إلى تحقيق تحولات أسرع وأكثر فعالية في مجال الطاقة المتجددة. من ناحية أخرى، لا تزال السياسات غير المتسقة والحوكمة الضعيفة والقيود المالية تشكل عوائق كبيرة لعملية التحول في ظل الظروف التكنولوجية والاقتصادية الإيجابية.

4. الدوافع الاجتماعية والجيوسياسية

المحور الرابع والأكثر أهمية الذي يدفع التحول إلى الطاقة المتجددة هو العوامل الاجتماعية والجيوسياسية. أنظمة الطاقة جزء لا يتجزأ من النسيج الاجتماعي والاقتصادي والسياسي للمجتمع، وبالتالي فإن التحولات في مجال الطاقة لها دائمًا آثار توزيعية تشكل قبول الجمهور والدعم السياسي والاستدامة على المدى الطويل. وبالتالي، فإن القضايا التقنية والاقتصادية وحدها لا تشكل التحولات في مجال الطاقة المتجددة. كما أن مراعاة القيم الاجتماعية وقضايا الإنصاف والاعتبارات الجيوستراتيجية تؤثر عليها أيضاً.

تعد مسألة أمن الطاقة محركاً جيوسياسياً رئيسياً للطاقة المتجددة. تشعر العديد من الدول بقلق متزايد إزاء نضوب الوقود الأحفوري وتقلبات الأسعار والاعتماد على موارد الطاقة المعقدة المستوردة (Adelekan et al،2024 ؛ Kabeyi& Olanrewaju، 2022). تسمح الطاقة المتجددة بتنويع إمدادات الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود المستورد، فضلاً عن تحقيق الاستقلال الطاقي على المدى الطويل. وهذا أمر ضروري بشكل خاص للدول المستوردة للطاقة التي تتعرض لصدمات خارجية وتوترات جيوسياسية عالمية حول الوقود الأحفوري (Zeppini & van den Bergh، 2020).

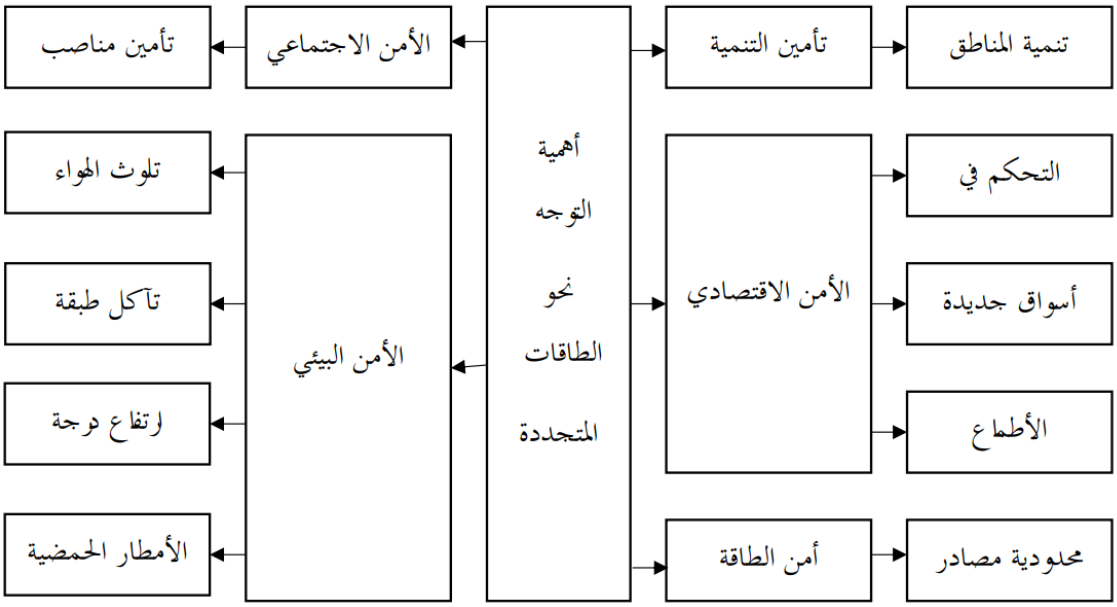
من خلال تغيير الأنماط التقليدية للتجارة، تعيد الطاقة المتجددة تشكيل الجغرافيا السياسية للطاقة في جميع أنحاء العالم. على عكس الوقود الأحفوري، لا تتركز موارد الطاقة المتجددة في مناطق قليلة. بل يمكن العثور عليها في جميع البلدان. ويقلل هذا التوزيع الجغرافي المتساوي من الاعتماد الاستراتيجي على عدد قليل من البلدان المصدرة ويساهم في إعادة تشكيل العلاقات العالمية في مجال الطاقة Bhattarai Et al., (2022) و Zeppini and van den Bergh (2020). وبالتالي، يُنظر إلى الطاقة المتجددة بشكل متزايد على أنها أصل استراتيجي يساهم في تعزيز المرونة الوطنية والاستقلال الجيوسياسي.

يعد فقر الطاقة إحدى القضايا الاجتماعية الرئيسية. في هذه الحالة تحدد الأبحاث وجهتي نظر متباينتين بشأن التحول في مجال الطاقة وفقر الطاقة. من المرجح أن يؤدي التحول قصير الأجل إلى أنظمة الطاقة منخفضة الكربون إلى ارتفاع تكاليف الطاقة، مما سيؤثر بشكل أساسي على الفقراء وسكان الريف. قد يتم تحميل المستهلكين التكاليف المرتبطة بإعانات وحوافز التكنولوجيا النظيفة، مما قد يؤدي إلى تفاقم فقر الطاقة. في المقابل، يجادل مؤيدو الطاقة المتجددة بأن أنظمة الطاقة المتجددة اللامركزية والمتاحة محليًا يمكن أن تعزز الوصول إلى طاقة ميسورة التكلفة وموثوقة ومستدامة، لا سيما في المناطق المحرومة. يمكن أن يؤدي استخدام الطاقة المتجددة إلى تخفيف الاعتماد على الوقود المستورد وتوسيع نطاق التوليد المحلي الذي يستهلك الوقود المحلي، مما يزيد من الاكتفاء الذاتي في مجال الطاقة ويخفض التكلفة طويلة الأجل للطاقة، وبالتالي يساهم في الحد من الفقر (Yu Yanf،2024 ؛ Bhattarai et al.، 2022). تتأثر الآثار المختلفة التي تنتج عن التحولات في مجال الطاقة على الصعيد الاجتماعي بشكل كبير بالسياسات والمؤسسات المعمول بها.

تؤثر آثار التوظيف بشكل أكبر على القبول الاجتماعي بسبب انتقالات الطاقة المتجددة. سيؤدي انخفاض الوظائف في الشركات كثيفة الكربون مع تراجع صناعات الوقود الأحفوري إلى مكاسب في الوظائف مع نشر الطاقة المتجددة في التصنيع والتركيب والتشغيل والصيانة (Yu Yanf، 2024). ومع ذلك، تحذر الأدبيات من أن النمو الناجح في التوظيف قد لا يتوافق جغرافيًا وزمنيًا مع تلك الأماكن التي تعاني من فقدان الوظائف، مما يقوض الدعم الاجتماعي للانتقال في المناطق المتضررة، وتسلط الضوء

على الحاجة إلى هذه السياسات الانتقالية، مثل برامج إعادة التدريب ودعم الدخل والتنمية الإقليمية. في الختام، ستؤثر العوامل الاجتماعية والجيوسياسية على التحولات في مجال الطاقة المتجددة من خلال تشكيل استراتيجيات أمن الطاقة وتعزيز قبول الجمهور وتصوراته للعدالة والمساواة. عندما تسهل السياسات الاستقلال في مجال الطاقة وتعالج قضايا التوزيع وتقدم مزايا اجتماعية أخرى، فمن المرجح أن تحظى بدعم سياسي عام مستدام.

الشكل رقم05: أهمية التوجه نحو الطاقات المتجددة



المصدر:بن عامر، يحيى عماد الدين، 2022، استهلاك *الطاقات المتجددة وأثرها على النمو الاقتصادي في الجزائر خلال الفترة (1990 - 2019) - محاولة للنمذجة*- أطروحة دكتوراه، جامعة أبو بكر بلقايد تلمسان، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير. ص12

ويبرز الشكل 05 أهمية التوجه نحو الطاقات المتجددة ملخصاً بذلك كل ما ذكر سابقاً من الدوافع، حيث يضع إطاراً شاملاً يربط بين حماية المنظومة البيئية من التدهور المناخي وبين تحقيق السيادة الطاقوية والاقتصادية للدول. فمن خلال هذا المخطط، يتضح أن الانتقال الطاقوي ليس مجرد استجابة لضرورات تقنية، بل هو ضرورة حتمية لتأمين مستقبل التنمية وضمان الاستقرار الاجتماعي عبر خلق فرص عمل مستدامة وتنمية المناطق. وبذلك، يشكل هذا التوجه صمام أمان يحمي المجتمعات من تقلبات الموارد الناضبة والأطماع الجيوسياسية، مكرساً مفهوماً جديداً للأمن القومي يرتكز على الاستدامة والابتكار.

المطلب الثالث: تحديات التحول الطاقوي

التحول الطاقوي و رغم ضرورته البيئية والاقتصادية، إلا أنه لا يتم بشكل تلقائي أو سلس، بل يواجه مجموعة من التحديات المعقدة والمتداخلة التي تعكس طبيعة أنظمة الطاقة باعتبارها أنظمة ديناميكية ومتشابكة مع مختلف القطاعات الاقتصادية والاجتماعية. وتكمن صعوبة هذا المسار في كونه لا يقتصر على مجرد تغيير في مزيج الطاقة، بل يتطلب إعادة هيكلة شاملة للبنية التحتية، وتطوير الأطر التنظيمية، وتغيير أنماط الإنتاج والاستهلاك، إضافة إلى

إعادة توزيع الأدوار بين مختلف الفاعلين الاقتصاديين. كما أن التحول الطاقوي يفرض تحقيق توازن دقيق بين عدة أهداف أساسية، تتمثل في ضمان أمن الإمدادات الطاقوية، والحفاظ على القدرة على تحمل تكاليف الطاقة، وتحقيق الاستدامة البيئية، وتعزيز القبول الاجتماعي، وهي أهداف قد تكون متعارضة في بعض الحالات، مما يزيد من تعقيد عملية الانتقال(Kabeyi & Olanrewaju, 2022)

علاوة على ذلك، تختلف طبيعة هذه التحديات وحدتها من دولة إلى أخرى، تبعًا لمستوى التنمية الاقتصادية، ووفرة الموارد الطبيعية، وقدرة المؤسسات، والبنية التحتية المتوفرة. ففي حين تواجه الدول المتقدمة تحديات تتعلق بتحديث الأنظمة القائمة وتقليل الاعتماد على البنى التحتية القديمة، تعاني الدول النامية من قيود إضافية تتمثل في ضعف التمويل، ونقص التكنولوجيا، ومحدودية القدرات المؤسسية، مما يجعل مسار التحول أكثر تعقيدًا.

وبناءً على ما سبق، يمكن تصنيف تحديات التحول الطاقوي إلى عدة أبعاد رئيسية تشمل التحديات التقنية، والاقتصادية، والمؤسساتية، والاجتماعية، إضافة إلى التحديات المرتبطة بالتنسيق بين القطاعات المختلفة، سيتم التطرق إليه بالتفصيل في العناصر التالية. فعلى الصعيد التقني والبنيوي، يواجه النظام العالمي تحدياً غير مسبوق يتمثل في الانتقال من مصادر طاقة مركزية ومستقرة يعتمد عليها العالم منذ الثورة الصناعية، إلى مصادر متقطعة وغير مستقرة بطبيعتها مثل الرياح والشمس. هذا التقطع يضع ضغوطاً هائلة على الشبكات الكهربائية القائمة التي لم تُصمم للتعامل مع تدفقات طاقة متغيرة، مما يستدعي استثمارات ضخمة لتحديث البنية التحتية وتحويلها إلى "شبكات ذكية" قادرة على موازنة العرض والطلب بمرونة فائقة. وعلاوة على ذلك، تبرز معضلة القطاعات "صعبة التخفيف (Hard-to-Abate) "كعقبة تكنولوجية كبرى؛ حيث إن الصناعات الثقيلة مثل الصلب والإسمنت والبتروكيماويات، بالإضافة إلى قطاعي الشحن البحري والطيران، تتطلب كثافة حرارية وكيميائية لا يمكن للكهرباء النظيفة وحدها توفيرها حالياً. هذا الواقع يجعل الاعتماد على تقنيات ناشئة مثل الهيدروجين الأخضر واحتجاز الكربون (CCS) أمراً حتمياً، رغم أنها لا تزال تواجه تحديات النضج التقني وارتفاع تكاليف الإنتاج بالمقارنة مع الحلول التقليدية (Obuseh et al., 2025).

ومن المنظور الاقتصادي والمالي، يتسم التحول الطاقوي بكونه عملية "كثيفة رأس المال"، حيث تتطلب المشاريع استثمارات أولية ضخمة جداً مقابل تكاليف تشغيلية منخفضة مستقبلاً، وهو نموذج تمويلي يواجه عقبات في ظل تذبذب الأسواق المالية وارتفاع أسعار الفائدة. كما يصطدم هذا التحول بظاهرة "الارتهان للمسار Path) " (Dependencyالمتمثلة في الأصول والمنظومات القائمة للوقود الأحفوري التي لا تزال في منتصف عمرها

الإنتاجي؛ فالتخلي المبكر عن هذه الأصول يمثل ما يُعرف بـ "التكاليف الغارقة"، وهي خسائر اقتصادية فادحة قد تعيق قدرة الدول والشركات على الاستثمار في البدائل النظيفة. وفي الوقت الذي تشهد فيه الأسواق المتقدمة حراكاً تمويلياً مدعوماً بالسياسات، تواجه الدول النامية فجوات تمويلية حادة ناتجة عن مخاطر ائتمانية عالية وضعف في الأطر المؤسسية، مما يهدد بحدوث تحول عالمي غير متكافئ يزيد من الفجوة التنموية بين الشمال والجنوب (Lv, 2023).

أما في البعد السياسي والتنظيمي، فإن غياب التنسيق بين السياسات الوطنية والالتزامات الدولية يمثل حجر عثرة أمام تسريع وتيرة الانتقال. فالتغيرات المفاجئة في الأطر التشريعية نتيجة التحولات السياسية الداخلية تؤدي إلى حالة من "عدم اليقين التنظيمي" التي تنفر المستثمرين طويلي الأجل. كما أن المصالح المتجذرة لمؤسسات الوقود الأحفوري التقليدية، والتي تمتلك نفوذاً سياسياً واقتصادياً كبيراً، قد تسعى أحياناً لإبطاء وتيرة التشريعات البيئية الطموحة حفاظاً على مكاسبها. ويضاف إلى ذلك تعقيد الإجراءات الإدارية وبطء منح التراخيص البيئية والمكانية لمشاريع الطاقة المتجددة الكبرى، مما يخلق فجوة زمنية واسعة بين التخطيط للمشاريع وتنفيذها الفعلي، وهو ما لا يتسق مع الجداول الزمنية الملحة التي تفرضها أزمة المناخ العالمية (Obuseh et al., 2025).

وفي الختام، يظل البعد الإنساني والاجتماعي هو الاختبار الحقيقي لنجاح أي تحول طاقوي مستدام، إذ إن الانتقال نحو الطاقة النظيفة ليس مجرد معادلة تقنية بل هو قضية عدالة اجتماعية بامتياز. تبرز هنا مخاوف حقيقية تتعلق بـ "العدالة الطاقوية"، حيث يمكن أن تؤدي سياسات الكربون إلى ارتفاع تكاليف المعيشة على الفئات الهشة، أو تؤدي إلى فقدان ملايين الوظائف في المناطق المعتمدة كلياً على تعدين الفحم أو إنتاج النفط. لذا، فإن مفهوم "الانتقال العادل (Just Transition) "يشدد على ضرورة دمج السياسات الاجتماعية مع الخطط الطاقوية، من خلال برامج إعادة التأهيل المهني وضمان توزيع عادل للمكاسب الاقتصادية الجديدة. إن استيعاب العوامل الثقافية وأنماط الاستهلاك وتغيير السلوك المجتمعي تجاه الطاقة يمثل التحدي الأخير والأكثر عمقاً، فبدون قبول اجتماعي واسع وإشراك حقيقي للمجتمعات المحلية، سيظل التحول الطاقوي يواجه مقاومة تعيق وصوله إلى أهدافه النهائية في خلق عالم مستدام ومنصف(Chipangamate & Nwaila, 2024).

المبحث الثالث: الأطر النظرية للتحول الطاقوي

أصبح التحول الطاقوي أحد أبرز القضايا الاستراتيجية التي تحظى باهتمام متزايد في الأدبيات الاقتصادية والسياسية والبيئية المعاصرة، في ظل التحديات المتشابكة التي تواجه نظم الطاقة التقليدية، وعلى رأسها نضوب الموارد الأحفورية، تقلبات الأسواق العالمية،

المخاطر الجيوسياسية، وتفاقم آثار التغير المناخي. ولم يعد النظر إلى الطاقة مقتصرًا على كونها مدخلًا إنتاجيًا فحسب، بل غدت عنصرًا محوريًا في تحقيق الأمن القومي، التنمية الاقتصادية، العدالة الاجتماعية، وحماية البيئة، وهو ما استدعى تطوير أطر نظرية متعددة تفسّر طبيعة التحول الطاقوي وأبعاده وآلياته. وفي هذا السياق، برزت مجموعة من النظريات التي تسعى إلى فهم التحول الطاقوي باعتباره عملية معقّدة ومتعددة الأبعاد، تتجاوز التغيير التقني البسيط نحو تحولات بنيوية تشمل المؤسسات، السياسات، السلوكيات الاجتماعية، وأنماط الإنتاج والاستهلاك.

المطلب الأول: نظرية أمن الطاقة

تُعد نظرية أمن الطاقة من بين الأطر المركزية في الدراسات الاقتصادية والسياسية لمعالجة العلاقة بين الطاقة والاقتصاد والأمن القومي في العصر الحديث، وقد ارتبط ظهور هذا المفهوم بشكل واضح بـ أزمات النفط في السبعينياتالتي كشفت هشاشة الاقتصادات التي تعتمد على واردات الطاقة، وخاصة النفط، وأبرزت الحاجة إلى ضمان توفر الإمدادات الطاقوية بشكل مستمر وبأسعار معقولةفي الأصل(Cherp & Jewell, 2014)، كان تعريف أمن الطاقة يركّز على هذا البعد الكلاسيكي الذي يشمل توفر الإمدادات وتنوع المصادر وتقليل الاعتماد على مورد واحد، وذلك لضمان قدرة الدول على مواجهة المخاطر الجيوسياسية والتقلبات في الأسواق العالمية.(B. W. Ang et al., 2015)ومع تعقّد التحديات العالمية، أصبح من الضروري توسيع مفهوم أمن الطاقة ليشمل طبيعة الجوانب الاقتصادية والاجتماعية والبيئية، إذ يعرّف البعض أمن الطاقة حديثًا بأنه القدرة على توفير مصادر الطاقة بصورة مستدامة وفي الوقت المناسب، وبأسعار لا تؤثر سلبًا على أداء الاقتصاد(Bilbao-Terol et al., 2025)،كما يشير البعض الآخر إلى أن أمن الطاقة مكوَّن من عدة أبعاد مترابطة تشمل توفر الطاقة، الكلفة المقبولة، استدامتها البيئية، التطور التكنولوجي، والتنوع في الموردين والسياسات، وهو ما يجعل المفهوم متعدد الأوجه ويتداخل مع أبعاد العدالة الطاقوية والكفاءة والاستدامة(Sovacool & Mukherjee, 2011).

وقد تطوّر مفهوم أمن الطاقة في الأدبيات الحديثة ليشمل ليس فقط ضمان الإمداد وجودة الشبكات، بل أيضًا التفاعل بين نظم الطاقة والوظائف الحيوية في المجتمعات، مما يُبرز أهمية تقليل نقاط الضعفVulnerabilitiesفي النظام الطاقوي، بحيث يصبح أقل تعرضًا للصدمات مثل الأزمات الجيوسياسية، الاضطرابات في سلاسل التوريد، والأزمات البيئية (Cherp& Jewell, 2014). وضمن هذا الإطار، يُنظر إلى أمن الطاقة على أنه مقياس لمرونة نظم الطاقةوليس فقط كتعريف تقليدي بسيط، ويشمل كذلك العلاقة بين الطاقة والتنمية الاجتماعية والاقتصادية، مثل تأثيرها على الأمن الغذائي والصحة والتعليمفي البلدان النامية والمتقدمة على حدّ سواء)(ايهاب حسن علي.(et al., 2025

بالإضافة إلى ذلك، ربطت الدراسات الحديثة بين أمن الطاقة والتحول الطاقوي نحو مصادر متجددة ومنخفضة الكربون، بحيث يُنظر إلى هذا التحول كأداة استراتيجية لتعزيز أمن الطاقة وتقليل التبعية على الوقود الأحفوري الذي يتعرّض لمخاطر سياسية واقتصادية كبيرة، وهذا الارتباط بين أمن الطاقة والتحول الطاقوي أصبح أكثر أهمية في ظل الأزمات الجيوسياسية المعاصرة مثل الحرب الروسية-الأوكرانية التي أثّرت على أمن الإمدادات في أوروبا وأعادت تسليط الضوء على الحاجة إلى اعتماد طاقات متجددة أكثر

استقلالية وأمانًا)معيفي, 2025)(،كما أنّ الكثير من الدراسات تشير إلى ضرورة تضمين البعد البيئي والمناخيضمن مفهوم أمن الطاقة، بحيث لا يمكن الفصل بين أمن الإمدادات الطاقوية وضرورة مواجهة تحديات التغير المناخي عبر خفض الانبعاثات الكربونية واستخدام مصادر نظيفة، مما يجعل أمن الطاقة عنصرًا محوريًا في سياسات التنمية المستدامة والتحول الطاقوي الشامل في السياسات الوطنية والدولية(Strojny et al., 2023).

بناءً على ذلك، يتضح أن نظرية أمن الطاقة لم تعد مجرد تعريف كلاسيكي يرتكز على تأمين الوقود، بل أصبحت إطارًا تحليليًا متعدد الأبعاديشمل الاستقرار والسعر والاستدامة والتنمية الشاملة، ويُعد جزءًا لا يتجزأ من السياسات الطاقوية الحديثة التي تهدف إلى ضمان قدرة الدولة على تلبية احتياجاتها الطاقوية بكفاءة، مع الحفاظ على مرونة النظام في مواجهة الصدمات، وتحقيق التوازن بين الأهداف الاقتصادية والبيئية والاجتماعية.

المطلب الثاني: نظرية التنمية المستدامة

تُعد نظرية التنمية المستدامة إطارًا نظريًا مركزيًا في فهم التحولات الاقتصادية والبيئية والاجتماعية المعاصرة، وقد أصبحت من المفاهيم الأساسية في السياسات التنموية منذ أن عرفتها اللجنة العالمية للبيئة والتنمية في تقرير «مستقبلنا المشترك» عام 1987 بأنها التنمية التي تلبي احتياجات الحاضر دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتهم الخاصة، مما يؤكد أهمية تحقيق توازن بين متطلبات النمو الاقتصادي والحفاظ على البيئة واستدامة الموارد النفسية للأجيال المستقبلية. وتؤكد هذه النظرية أن التنمية ليست مجرد نمو اقتصادي فحسب، بل هي عملية شاملة تأخذ بعين الاعتبار البعد الاجتماعي والبيئي إلى جانب البعد الاقتصادي، بحيث تتحقق رفاهية الإنسان ورفاهية المجتمع معًا دون إهدار الموارد الطبيعية أو التسبب في تدهور النظم البيئية.

وتنطلق التنمية المستدامة من فرضية أن الأنشطة الاقتصادية التقليديةالقائمة على استنزاف الموارد الأحفورية والتوسع الصناعي غير المنضبط أدّت إلى مشكلات بيئية خطيرة مثل التلوث وتغير المناخ وارتفاع درجات الحرارة العالمية، وهو ما يُهدد جودة حياة الإنسان ومستقبل الأجيال القادمة، مما يُلزم الاقتصادات الحديثة بالبحث عن نظم إنتاج واستهلاك أكثر توازنًا واستدامة(بوجحفة, 2020)، وفي هذا السياق، ترتبط التنمية المستدامة ارتباطًا وثيقًا بمفاهيم مثل الطاقة النظيفة، كفاءة الموارد، العدالة الاجتماعية، وجودة الحياة، إذ يُنظر إلى التنمية الناجحة على أنها تلك التي توفّر الاحتياجات الأساسية للبشر بينما تضمن كذلك حماية الموارد الطبيعية مثل المياه والتربة والغابات والطاقة للأجيال القادمة.

وفقًا لهذا الإطار، يرتبط التنمية المستدامة ارتباطًا وثيقًا بالطاقة النظيفة وكفاءة استخدام الموارد والعدالة الاجتماعية ونوعية الحياة وما إلى ذلك. يجب أن تلبي التنمية الناجحة الاحتياجات الإنسانية الأساسية، وفي الوقت نفسه، تحمي الموارد الطبيعية الحيوية مثل المياه والتربة والغابات والطاقة لصالح الأجيال القادمة. وفقًا للأدبيات الحديثة، يجب أن تتضمن التنمية المستدامة ثلاثة عناصر أساسية على الأقل: الجدوى الاقتصادية وحماية البيئة والعدالة الاجتماعية. في هذا الصدد، يُعتبر الانتقال إلى مصادر الطاقة المتجددة والنظيفة عاملاً رئيسياً محتملاً لتحقيق الاستدامة(*Sustainable Energy*, s. d.)، حيث سيقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري، ويحد من الأثر البيئي، ويدعم الأهداف الاجتماعية، من خلال ضمان حصول الجميع على طاقة ميسورة التكلفة وموثوقة ومستدامة.

وبالتالي، يتم استخدام التنمية المستدامة بطريقة أكثر عملية. فهي تُستخدم كسياسة عامة. كما أنها توجه عملية صنع القرار العام بشأن الطاقة المستدامة بيئياً.

المطلب الثالث: نظرية الابتكار التكنولوجي

تعد نظرية الابتكار التكنولوجي واحدة من أكثر النظريات استخدامًا في العلوم الاقتصادية والاجتماعية والهندسية. علاوة على ذلك، فإنها تقدم تفسيرًا للعملية التي من خلالها تتطور التقنيات الجديدة ويتم استيعابها في الأنظمة الإنتاجية والاجتماعية. والأهم من ذلك، أن النظرية ترى التكنولوجيا كقوة دافعة رئيسية للتغيير الاقتصادي والاجتماعي. لا يشير الابتكار إلى مجرد تحسين التقنيات الحالية فحسب، بل يشير أيضًا إلى توليد الأفكار والتقنيات، وإنتاج الأفكار ونشرها في المنتجات وعمليات الإنتاج، وزيادة اندماجها في الأسواق لتلبية الاحتياجات المتغيرة(محمد & صفاء, 2017).يشير الابتكار التكنولوجي إلى تنظيم وتكامل الأنشطة المختلفة لمنظمة ما، لإنتاج منتجات وعمليات جديدة أو محسنة. يمكن للشركات والاقتصادات استخدام الابتكار التكنولوجي للتكيف مع التغيرات في السوق وتوقعات المستهلكين. تؤكد النظرية على أن القدرة على الابتكار تعكس قدرة النظام الاقتصادي على إنشاء التكنولوجيا الحديثة واعتمادها وتحسينها باستمرار. ومن المهم أن هذا التحول يتجاوز البعد التقني ويشمل أيضًا البيئة المؤسسية والاستراتيجية والثقافية لنشر التكنولوجيا، والتي تشمل سياسات البحث والتطوير والبنية التحتية وأنظمة المعرفة والمهارات الداعمة (Geels, 2002).

يوضح (Geels, 2002)في مقال رائد أن التحولات التكنولوجية ليست عفوية؛ فهي تنطوي على تغييرات في ممارسات المستخدمين، والتنظيم الصناعي، والنظام التنظيمي، وشبكات البنية التحتية، والعلاقات الاجتماعية والثقافية. إن تقنيات مجال الطاقة هي أكثر بكثير من مجرد خلايا شمسية أو بطاريات جديدة. فهي تنطوي على تفاعلات معقدة بين التكنولوجيا والسلوك الاجتماعي والمؤسسات والسياسة العامة. ونرى تحليلًا متعدد المستويات لدورة حياة مثل هذه التكنولوجيا في مجال الطاقة. والتفاعلات من الأنواع المذكورة أعلاه ضرورية لخفض التكاليف وتحسين الكفاءة ونشر الطاقة المتجددة على نطاق أوسع. وبالتالي، تحدد نظرية ابتكار التكنولوجيا أن التحول في مجال الطاقة سيكون ناجحًا من خلال نظام بيئي قوي للابتكار في مجال البحث والتطوير ونقل التكنولوجيا وبناء القدرات المؤسسية والسياسات العامة الداعمة.

المطلب الرابع: نظرية التحول الاجتماعي–التقني

تُعد نظرية التحول الاجتماعي–التقني(Socio-Technical Transition Theory)إطارًا تحليليًا متقدمًا لفهم التحولات البنيوية العميقة في نظم الطاقة والمجتمع، إذ ترى أن التحولات الكبرى لا تنحصر في تبني تكنولوجيا جديدة فحسب، بل تنشأ من تفاعلات معقدة بين التكنولوجيا، المؤسسات، السياسات، البنى التحتية، والممارسات الاجتماعية والثقافية، وهو ما يجعلها منظومة متعددة العناصر مترابطة في ما يُعرف بالنظام الاجتماعي–التقني. وتُقدَّم هذه النظرية ضمن ما يُعرف بمنظور المستويات المتعددة (Multi-Level Perspective – MLP) ، والذي يحلل التحولات باعتبارها تفاعلات بين ثلاثة مستويات مترابطة: المستوى الجزئي (Niches) الذي يشكل بيئة الابتكار والتجريب، المستوى الوسيط أو النظام السائد (Regime) الذي يمثّل

البنى المؤسسية والتكنولوجية والاجتماعية القائمة، والمستوى الكلي (Landscape) الذي يشمل القوى الهيكلية الكبرى مثل التغيرات البيئية، التأطير الثقافي، الضغوط الاقتصادية والسياسات الدولية. وفي هذا السياق، يُنظر إلى الابتكارات المبتدئة في مستويات الNiches كأساس للتغيير، إلا أنها تواجه مقاومة قوية من النظام السائد لأن الأخير يحتوي على سياسات، بنية تحتية، ممارسات مؤسسية، وتفضيلات اجتماعية متكاملة تجعل من الصعب على التقنيات الجديدة أن تنتشر بسرعة دون أن تواجه قفلًاتقنيا(Lock-in) يستعصي على الاختراق .

وتُظهر نظرية التحول الاجتماعي التقني أن التغيرات في النظام لا تنشأ من التكنولوجيا وحدها، بل من التفاعل بين الابتكار والمستخدمين والسوق والسياسات، مما يتطلب تعديلات في اللوائح والمعايير والبنية التحتية والتعليم والتدريب، وهو ما يجعل التحول عملية طويلة ومعقدة تبدأ غالبًا عندما يتراكم الضغط على النظام السائد (من المستوى الكلي) وتكون هناك ابتكارات كافية في المستوى الجزئي لإحداث تأثيرات. ويُستخدم هذا الإطار بشكل واسع في الدراسات المتعلقة بالطاقة للتحليل الذي يتجاوز النظرة التقنية الضيقة ليشمل التحولات المؤسسية والاجتماعية التي تتيح الوصول إلى نظم طاقوية أكثر استدامة، إذ إذا لم يتغير النظام السائد في تنظيمه وسياساته وممارساته، فإن التقنية المتجددة قد تبقى هامشية بالرغم من فعاليتها ، وعليه، فإن نظرية التحول الاجتماعي التقني تقدم تفسيرًا شاملًا لسبب استغراق التحولات الطاقوية وقتًا طويلًا وضرورة تنسيق التغيرات التقنية مع السياسة العامة، السلوك الاجتماعي، والبنية المؤسسية لضمان انتشار واعتماد واسع للتقنيات الجديدة، مما يجعلها حجر الزاوية في فهم التحول الطاقوي واتجاهه نحو الاستدامة على المستوى الوطني والعالمي.

خلاصة الفصل:

تناول هذا الفصل الإطار النظري للتحول الطاقوي من خلال استعراض مجموعة من المفاهيم الأساسية، وتحليل دوافعه وتحدياته، وربطه بأهم الأطر النظرية المفسرة له. وقد تم التطرق في البداية إلى مفهوم الطاقة ومصادرها، مع التمييز بين الطاقات التقليدية القائمة على الوقود الأحفوري، وما تطرحه من إشكالات بيئية واستنزاف للموارد، وبين الطاقات المتجددة التي تمثل بديلاً استراتيجيًا نظيفًا ومستدامًا، رغم ما تواجهه من تحديات تقنية واقتصادية.

كما أبرز الفصل أن التحول الطاقوي لا يقتصر على مجرد استبدال مصادر الطاقة، بل يمثل تحولًا هيكليًا عميقًا يشمل مختلف القطاعات الاقتصادية، ويهدف إلى بناء نظام طاقوي منخفض الكربون وأكثر كفاءة واستدامة. وقد تم توضيح أن هذا التحول تحركه مجموعة من الدوافع المتداخلة، تشمل الاعتبارات البيئية المرتبطة بمكافحة التغير المناخي، والدوافع الاقتصادية والتكنولوجية المرتبطة بتحسن تنافسية الطاقات المتجددة، إضافة إلى العوامل السياسية والاجتماعية والجيوسياسية التي تعزز من أهميته على المستوى الوطني والدولي.

في المقابل، بيّن الفصل أن مسار التحول الطاقوي يواجه تحديات متعددة الأبعاد، تتراوح بين القيود التقنية المرتبطة بتقطع مصادر الطاقة المتجددة وصعوبة إزالة الكربون في بعض القطاعات، والتحديات الاقتصادية والمالية المتعلقة بحجم الاستثمارات المطلوبة، فضلًا عن التحديات المؤسسية والاجتماعية المرتبطة بالحوكمة والعدالة الطاقوية وقبول المجتمع لهذا التحول. وأخيرًا، تم تأطير التحول الطاقوي

ضمن مجموعة من النظريات المفسرة، حيث ساهمت نظرية أمن الطاقة في إبراز أهمية ضمان استقرار الإمدادات وتقليل التبعية الخارجية، بينما ركزت نظرية التنمية المستدامة على تحقيق التوازن بين الأبعاد الاقتصادية والبيئية والاجتماعية. كما أبرزت نظرية الابتكار التكنولوجي دور التقدم التقني في تسريع الانتقال الطاقوي، في حين فسرت نظرية التحول الاجتماعي–التقني هذا المسار باعتباره عملية تحول تدريجية تشمل الأنظمة التقنية والسلوكيات والمؤسسات.

الفصل الثاني

واقع وآفاق

التحول الطاقوي

في الجزائر

تمهيد:

تعد الجزائر حالة نموذجية لاقتصاد يعتمد على الوقود الأحفوري ويواجه قيودًا وفرصًا كبيرة في سياق التحول الطاقي، بحيث تهيمن الهيدروكربونات على نظام الطاقة في البلاد وتشكل تقريبًا كل إنتاج الكهرباء والغالبية العظمى من استهلاك الطاقة المحلي وعائدات التصدير. ويشكل الغاز الطبيعي، على وجه الخصوص، محورًا أساسيًا للنموذج الاقتصادي الجزائري، ويؤدي استخدامه من قبل الجزائر إلى عائدات ضريبية، وتدفق للعملات الأجنبية، وقوة جيوسياسية.

على الرغم من التنويع الاقتصادي الكبير في العقود الأخيرة، لا تزال البلاد تعتمد بشكل كبير على موارد الهيدروكربونات، مما يعرضها لعدة نقاط ضعف: تقلب الأسعار، ومخاطر استنزاف الموارد، وارتفاع الطلب المحلي على الطاقة، والضغط الدولي المتزايد لإزالة الكربون من أنظمة الطاقة.

في الوقت نفسه، تمتلك الجزائر واحدة من أكبر قواعد موارد الطاقة المتجددة في منطقة البحر الأبيض المتوسط وأفريقيا. ويحمل تطوير تقنيات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والكتلة الحيوية والطاقة الحرارية الأرضية والهيدروجين الأخضر الجديد إمكانات كبيرة بفضل مساحتها الشاسعة ومناخها الملائم وقربها الجغرافي من أسواق الطاقة الأوروبية. وبالتالي، فقد بدأت مجموعة متنامية من الدراسات في تحديد خصائص قدرات الطاقة المتجددة في الجزائر، وتحديد عدد من الأولويات التكنولوجية، وتحليل الشروط السياسية والمؤسسية والاقتصادية اللازمة لتحويل هذا الإمكانات التقنية إلى نظام طاقة بديل فعال (Zahraoui et al., 2021; Stambouli et al., 2012a; Himri et al., 2022)

على الرغم من أن هناك توافقًا بين ما تمتلكه البلاد وما تحتاجه على المدى الطويل، إلا أن استخدام الطاقة المتجددة لا يزال محدودًا للغاية. سيركز هذا القسم على دراسة إمكانات الطاقة المتجددة في الجزائر، لا سيما من خلال تحليل قدرات الموارد والإمكانات التقنية؛ والتقنيات الرئيسية التي تشكل آفاق المستقبل؛ والأهداف السياسية والثغرات ومسارات الانتقال. وانطلاقًا من ذلك، سيتم في هذا الفصل تحليل واقع التحول الطاقوي في الجزائر من خلال دراسة الإمكانيات المتاحة، السياسات المعتمدة، والتحديات التي تعيق هذا المسار.

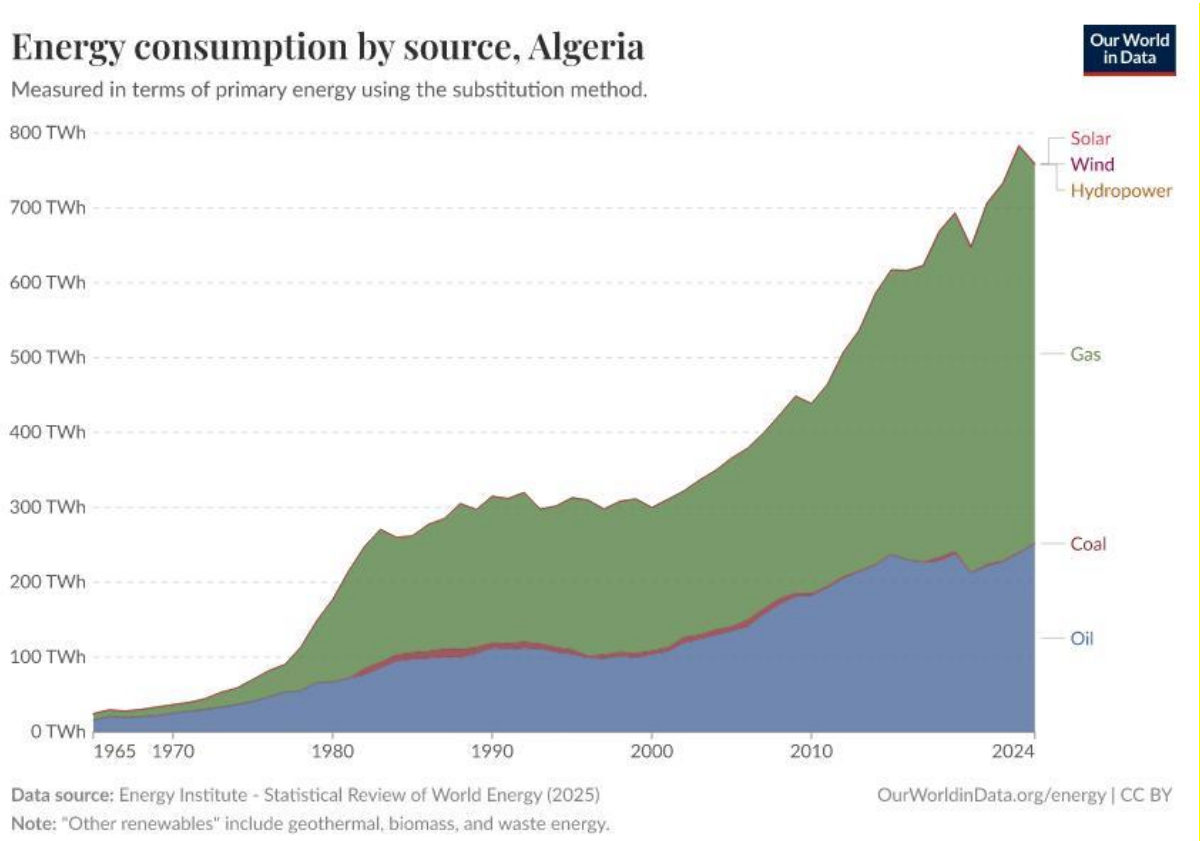
المبحث الأول: وضع قطاع الطاقة في الجزائر

المطلب الأول: الطاقات التقليدية في الجزائر

لا يزال نظام الطاقة في الجزائر يعتمد بشكل مفرط على الوقود الأحفوري، وتحديداً الغاز الطبيعي والنفط، اللذين يشكلان العمود الفقري للاقتصاد الوطني والإمدادات الطاقوية. وتستحوذ المحروقات على حصة الأسد في كل من توليد الكهرباء وعائدات التصدير، حيث تساهم بنسبة تتراوح ما بين 93% و99 %من إنتاج الطاقة الكهربائية، وما يقارب 94%إلى 95 %من إجمالي الصادرات(Samir et al., 2024).

يعتمد إنتاج الكهرباء في الجزائر بشكل أساسي على المحطات الحرارية التي تعمل بالغاز، سواء بتقنيات الدورة البسيطة أو الدورة المركبة. وقد وصلت القدرة الإنتاجية المركبة في السنوات الأخيرة إلى حوالي 20-17جيجاوات، مع نمو الطلب السنوي على الكهرباء بمعدل 7%-5%.ويلعب الغاز الطبيعي دوراً محورياً، حيث يغطي أكثر من 60%من توليد الكهرباء ونحو 40%-37 من إجمالي استهلاك الطاقة النهائي (Rabhi et al., 2024).أما من حيث القطاعات، يتوزع استهلاك الطاقة على عدة مجالات حيوية؛ حيث يمثل قطاع النقل الحصة الأكبر بنحو 36%-30من إجمالي الاستهلاك النهائي، يليه القطاع السكني بنسبة 30%-25، والذي شهد نمواً متسارعاً مؤخراً. كما يستهلك إنتاج الكهرباء في حد ذاته حصة كبيرة من الغاز الطبيعي، تُقدر ما بين 28% و40% (Boukli Hacene et al., 2020).

الشكل06: تطور استهلاك الطاقة الأولية حسب المصدر في الجزائر"(1965–2024)



المصدر: Our World in Data, available at: https://ourworldindata.org/renewable-energy Date of visit: 20/01/2026 at 17:30

على الرغم من الأهمية الاستراتيجية لهذا النموذج القائم على الوقود الأحفوري، إلا أنه يواجه ضغوطاً اقتصادية وبيئية متزايدة. فقد تضاعف استهلاك الطاقة المحلي أكثر من مرتين منذ عام 2000 ويستمر في الارتفاع بوتيرة سريعة، في حين زاد الإنتاج بمعدل أبطأ بكثير. هذا الاختلال يقلص تدريجياً من القدرة التصديرية للجزائر ويثير مخاوف جدية بشأن أمن الطاقة على المدى الطويل.

إلى جانب ذلك، تساهم التبعية الكبيرة للوقود الأحفوري بشكل ملموس في انبعاثات الغازات الدفيئة، ولا سيما ثاني أكسيد الكربون، مما يعزز من حتمية التحول نحو مصادر طاقة نظيفة. ومع ذلك، يصطدم هذا التحول بعدة عوائق هيكلية، من أبرزها نظام دعم الطاقة الواسع الذي يخفض الأسعار اصطناعياً ويشجع على الاستهلاك المفرط، فضلاً عن التحديات المؤسساتية والإدارية التي تحد من فاعلية سياسات التنويع(Haddoum et al., 2018).

علاوة على ذلك، ورغم الأهداف الوطنية الطموحة لنشر الطاقات المتجددة، لا تزال القدرة الفعلية المركبة منخفضة مقارنة بالمخططات المعلنة. ويعكس هذا استمرارية هيمنة نظام الطاقة القائم على المحروقات، والذي يتطور نحو التنويع ببطء وبعدم توازن.

خلاصة القول، بينما لا تزال الطاقة التقليدية تلعب الدور المهيمن في الجزائر، فإن استدامتها على المدى الطويل أصبحت محل تساؤل متزايد في ظل ارتفاع الطلب المحلي، وتراجع آفاق التصدير، والقيود البيئية. وهي عوامل تؤكد الحاجة الملحة إلى انتقال طاقوي مهيكل ومتسارع.

المطلب الثاني: امكانيات الطاقة المتجددة في الجزائر

1. الطاقة الشمسية:

تعتبر الطاقة الشمسية المورد المتجدد الرئيسي في الجزائر، والأكثر احتمالاً للتطبيق على نطاق واسع. تمتلك الجزائر واحدة من أعلى الموارد الشمسية في العالم نظرا للموقع الجغرافي الذي تتميز به، بحيث مدة سطوع الشمس على كامل التراب الوطني تتجاوز تقريبا 2000 ساعة سنويا ويمكن أن تصل إلى 3900 ساعة (المرتفعات والصحراء). تبلغ الطاقة التي يتم تلقيها سنويًا على سطح أفقي مساحته 1 متر مربع حوالي 3 كيلووات ساعة/متر مربع في الشمال وتتجاوز 5.6 كيلووات ساعة / متر م ربع في أقصى الجنوب. وتتراوح قيم الإشعاع الأفقي العالمي بين 1700 و2650 كيلوواط ساعة/متر مربع/سنة (Abada & Bouharkat, 2018; Haddoum et al., 2024; *Ministry Of Energy And Renewable Energies*, s. d.)

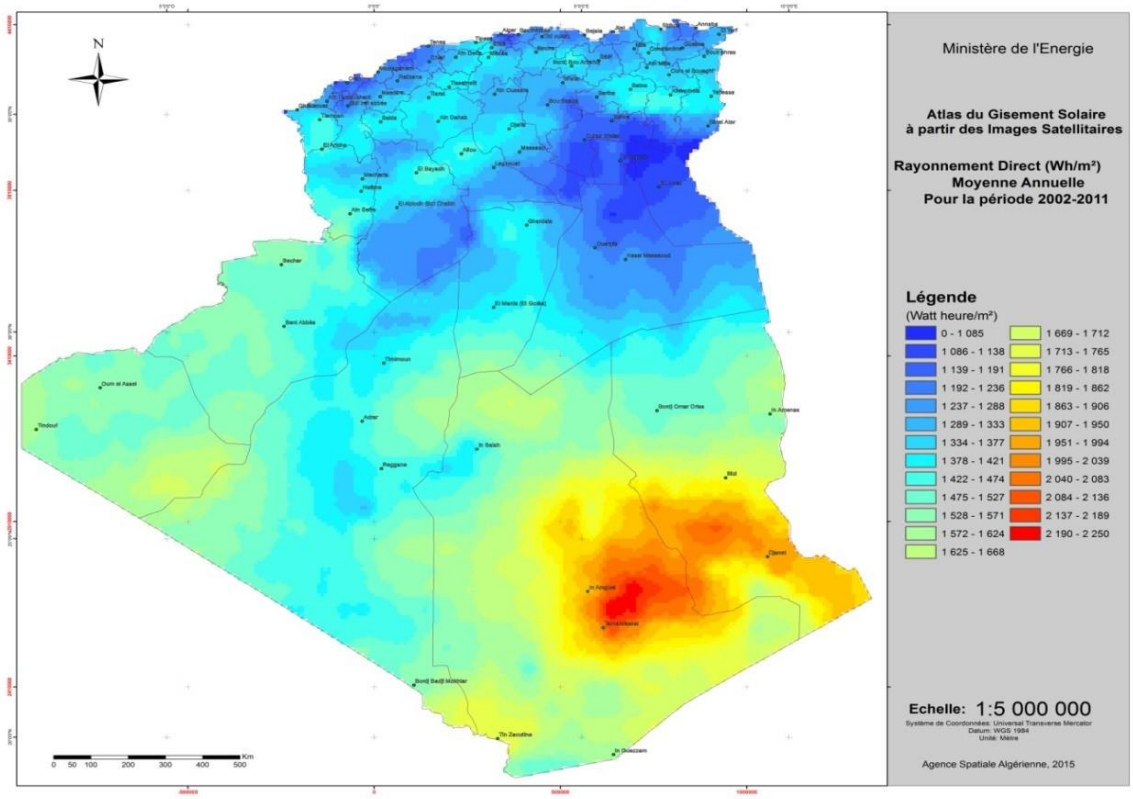
الجدول رقم 04: إمكانيات الجزائر من الطاقة الشمسية، ومعدل توزيعها عبر التراب الوطني

المناطق	المنطقة الساحلية	الهضاب العليا	المناطق الصحراوية
المساحة(%)	4	10	86
المدة الزمنية لبروز الشمس سنة /ساعة	2650	3000	3500

الطاقة المتوفرة في المتوسط (ك.و.س/م مربع/سنة)	1700	1900	2650

المصدر: بن جدو زوهير،بضياف عبد المالك– الطاقات المتجددة خيار استراتيجي لتحقيق التنمية المستدامة في الجزائر–مداخلة في الملتقى الدولي الثاني حول إدارة الانتقال الطاقوي: التحول من نموذج طاقوي ناضب إلى نموذج طاقوي مستدام، يومي 05 و 06 أكتوبر 2019.

الشكل07:خريطة الجزائر لمتوسط للاشعاع الشمسي المباشر السنوي.



المصدر: موقع وزارة الطاقة و المناجم (*Ministry Of Energy And Renewable Energies*, s. d.)

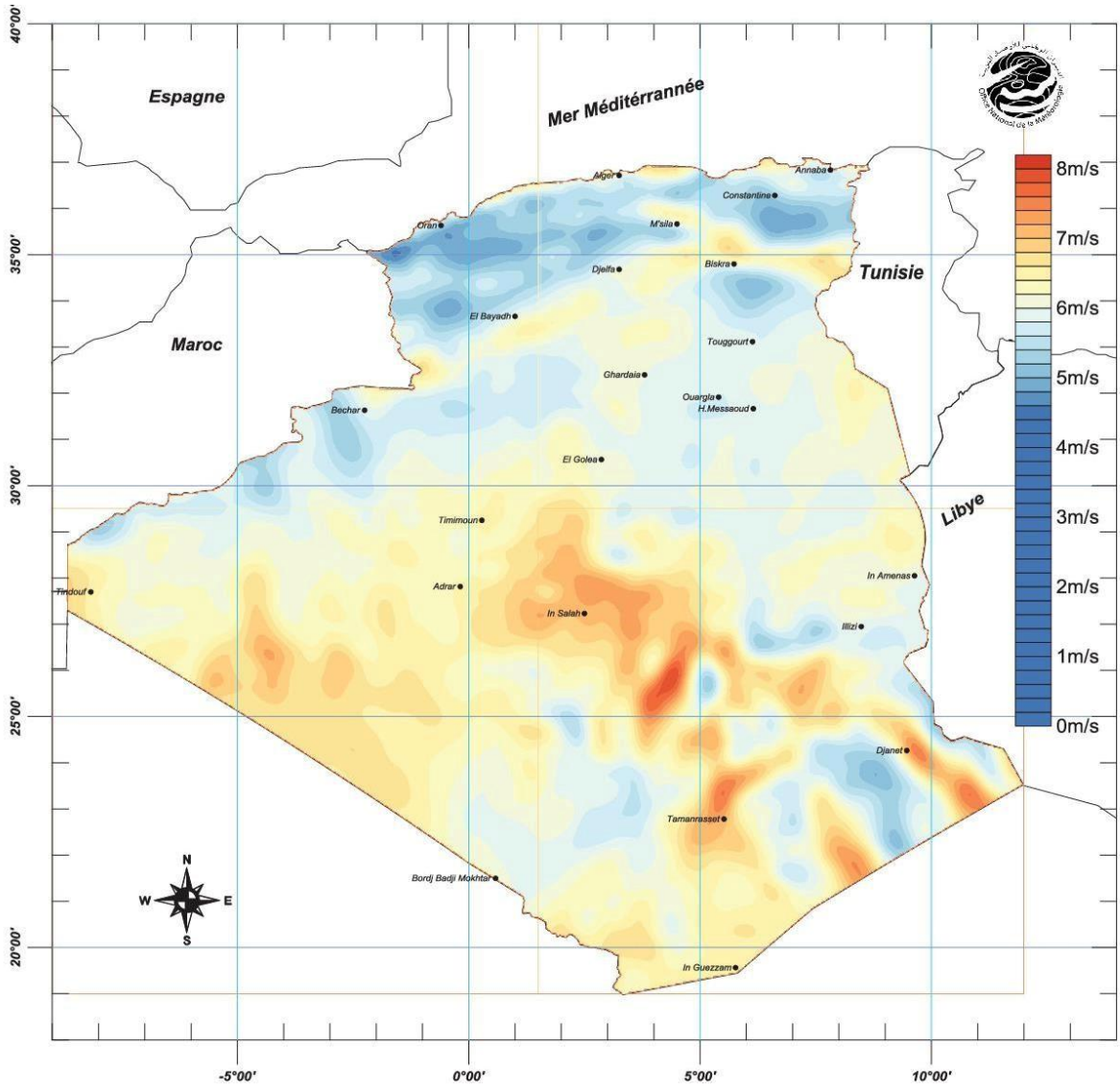
من خلال الأرقام في الجدول4 وما يوضحه كذلك الشكل 7 فإن كمية الأشعة الشمسية التي تستقبلها الجزائر عبر كامل ترابها الوطني هائلة، بحيث تتوفر على مخزون شمسي كبير جدا، حيث فاقت مدة بروز الشمس في السنة مدة 2500 ساعة في المناطق الساحلية والهضاب العليا، ووصلت الى 3500 ساعة في المناطق الصحراوية. تشكل هذه الإمكانيات موردًا استراتيجيًا، غير أن استغلالها يبقى رهينًا بعدة عوامل اقتصادية وتقنية ومؤسساتية، على غرار ارتفاع كلفة استغلال هذا المورد، و مشاكل اكتساح الرمال على الألواح الشمسية مما يفقدها كفاءتها.

2. طاقة الرياح:

على الرغم من التطورات في مجال طاقة الرياح، يواجه تطوير طاقة الرياح تحديات كبيرة، مثل محدودية الوصول إلى مواقع الرياح عالية الجودة، والتنافس على استخدام الأراضي، والعقبات التقنية في الاتصال بالشبكة. وبالتالي، لا تعتبر طاقة الرياح في الغالب الركيزة الأساسية لاستراتيجية الطاقة المتجددة في الجزائر، بل ركيزة ثانوية، وتقدر العديد من الدراسات أن الطاقة الريحية يمكن أن تساهم بعدة عشرات من تيراواط/ساعة سنوياً(Baghdadi et al., 2015).

تختلف موارد الرياح في الجزائر بشكل كبير من مكان إلى آخر. ويرجع ذلك أساسًا إلى التضاريس والمناخ المتنوع للغاية. وفي الواقع، تنقسم الجزائر إلى منطقتين جغرافيتين كبيرتين ومتميزتين. شمال البحر الأبيض المتوسط والذي يتميز بساحل يبلغ طوله 1200 كم وتضاريس جبلية تتمثل في سلسلتي الأطلس التلي والأطلس الصحراوي. وتتخلل بينهما السهول والهضاب المرتفعة ذات المناخ القاري. أما الجنوب فيتميز بمناخ صحراوي.

الشكل08:خريطة الجزائر لمتوسط الرياح السنوية على ارتفاع 50 مترًا (الفترة 2001-2010)



المصدر: موقع وزارة الطاقة و المناجم (*Ministry Of Energy And Renewable Energies*, s. d.)

يوضح الشكل8 توزع الرياح على مختلف مناطق الجزائر بحيث توضح الخريطة أن الجنوب يتميز بسرعات أعلى من الشمال، خاصة في الجنوب الشرقي، حيث تبلغ السرعات أكبر من 7 م/ث والتي تتجاوز قيمة 8 م/ث في منطقة تمنراست (إن أمغيل)). أما في الشمال فنلاحظ بشكل عام أن متوسط السرعة منخفض. ومع ذلك، نلاحظ وجود مناخات محلية في المواقع الساحلية لوهران وبجاية وعنابة، وعلى الهضاب العالية في تبسة وبسكرة والمسيلة والبيض (6 إلى 7 م/ث)، والجنوب الكبير (>8 م) (*Ministry Of Energy And Renewable Energies*, s. d.)

غالبًا ما تُصوَّر الطاقة الريحية على أنها إضافة قيّمة للطاقة الشمسية. وينطبق هذا بشكل خاص على المناطق الساحلية حيث تصل سرعة الرياح إلى أقصى مستوياتها خلال فترات انخفاض توليد الطاقة الشمسية. وفقًا لتحليلات تجريبية مختلفة، يمكن أن يؤدي دمج هذه التكاملية الزمنية في نظام الكهرباء، يمكن أن يحسن موثوقية النظام ويقلل من التخزين أو التوليد الاحتياطي (Omar et al., 2025; Stambouli et al., 2012a) إلا أنه يجب دراسة جدوى استغلال هذا المورد انطلاقا من التكاليف و مردوديته.

3. الطاقة الحرارية الجوفية:

لقد أتاح تجميع البيانات الجيولوجية والجيوكيميائية والجيوفيزيائية التعرف على أكثر من مائتي (200) من الينابيع الساخنة التي تم جردها في الجزء الشمالي من البلاد. حوالي الثلث (33٪) منهم لديهم درجات حرارة أعلى من 45 درجة مئوية. وتوجد في بسكرة ينابيع ذات حرارة عالية تصل إلى 118 درجة مئوية.

مكنت الدراسات التي أجريت على التدرج الحراري من تحديد ثلاث مناطق يزيد انحدارها عن 5 درجات مئوية/100 متر(*Ministry Of Energy And Renewable Energies*, s. d.)

- منطقة غليزان ومعسكر
- منطقة عين بوسيف وسيدي عيسى
- منطقة قالمة وجبل العنق

4. الطاقة المائية:

إن الكميات الإجمالية التي تسقط على الأراضي الجزائرية كبيرة وتقدر بـ 65 مليار م3، لكنها في نهاية المطاف لا تفيد البلاد إلا قليلاً: انخفاض عدد أيام هطول الأمطار، تركز في مناطق محدودة، ارتفاع التبخر، الإخلاء السريع إلى البحر.ومن الناحية التخطيطية، تتناقص الموارد السطحية من الشمال إلى الجنوب. وتقدر الموارد المفيدة والمتجددة حاليا بحوالي 25 مليار م3، حوالي ثلثي منها موارد سطحية. تم تحديد 103 مواقع للسدود. ويوجد أكثر من 50 سدًا قيد التشغيل حاليًا. (*Ministry Of Energy And Renewable Energies*, s. d.)

المطلب الثالث: آفاق مشاريع الجزائر في الطاقات المتجددة

- **محطات لتحلية المياه تعمل بالطاقة الشمسية:**

في مواجهة أزمة المياه المتزايدة بسبب تغير المناخ والنمو السكاني، شرعت الجزائر في تنفيذ خطة طموحة لبناء ست محطات جديدة لتحلية مياه البحر تعمل بالطاقة الشمسية، وتهدف هذه الاستراتيجية إلى زيادة قدرة البلاد على تحلية المياه بشكل كبير مع تقليل اعتمادها على الوقود الأحفوري لإنتاج الطاقة.

وبحسب محمد بوطابة، المدير العام للشركة الجزائرية للطاقة، فإن هذه المصانع الستة ستبلغ طاقتها الإنتاجية الإجمالية 1.8 مليون متر مكعب يوميا، وينبغي أن تكون جاهزة للعمل ما بين 2027 و2028، وهو مايعني إمكانية دمج مصادر الطاقة المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية، لتشغيل محطات تحلية المياه المستقبلية. ويعد هذا التطور جزءًا من رؤية البلاد طويلة المدى لتقليل اعتمادها على الوقود الأحفوري والتحول إلى مزيج الطاقة النظيفة. وأوضح السيد بوطابة أن محطة تحلية المياه بطاقة 300 ألف متر مكعب يوميا تستهلك عادة ما بين 40 و45 ميجاوات من الكهرباء يوميا. ومن خلال تخصيص 30 إلى 40 هكتارًا من الأراضي لإنتاج الكهرباء بالطاقة الشمسية لكل محطة، يمكن للجزائر إنتاج هذه الكمية من الكهرباء بنفسها، مما قد يقلل تكاليف تحلية المياه بنسبة تصل إلى 30٪.(Portail CDER, s. d.)

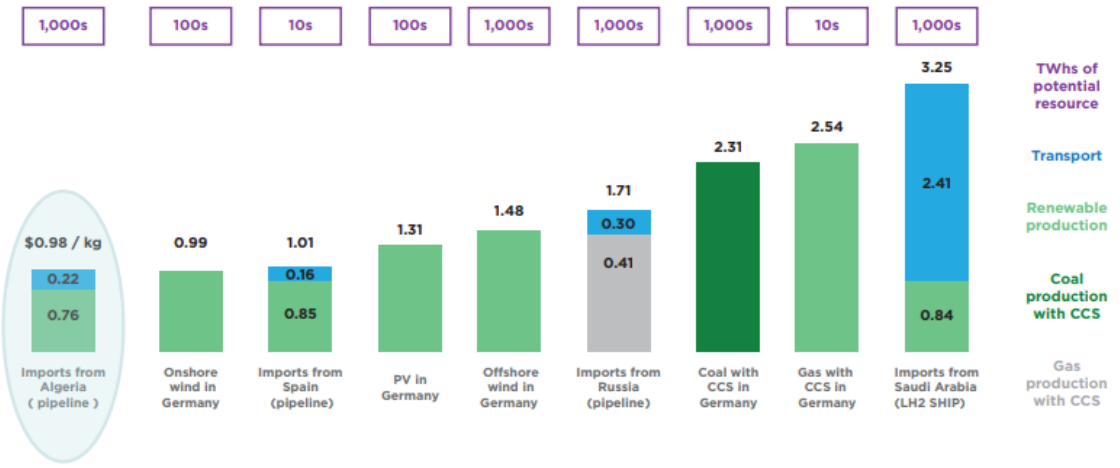
- **الهيدروجين المتجدد الأخضر والنظيف الأزرق:**

الهيدروجين (H) هو العنصر الكيميائي الأبسط والأكثر وفرة في الكون. وعلى الأرض، يرتبط الهيدروجين بـ عناصر كيميائية أخرى في جزيئات مثل الماء والهيدروكربونات والسليلوز (الكتلة الحيوية). ثنائي الهيدروجين (H2)، جزيء يتكون من مزيج من عدد (2) ذرات هيدروجين عدد كبير جدًا خفيف، شديد الاشتعال، عديم الرائحة، وعديم اللون، يسمى في اللغة الشائعة الهيدروجين. يمكن استخدام الهيدروجين كحامل الطاقة أو كمادة خام في العديد من القطاعات الصناعية، وخاصة في الصناعة الكيميائية.

تعتبر الجزائر من بين أبرز الدول التيتمتلك العديد من المقومات التي تضعها في موقع الصدارة إقليميا ودوليا في مجال تطوير الهيدروجين، وخاصة الهيدروجين الأخضر. هذه المزايا تتمثل في:

- موقع جغرافي متميز وإمكانات كبيرة في مجال الطاقات المتجددة.
- شبكة كهرباء واسعة وقوية.
- شبكة هامة من خطوط أنابيب الغاز الوطنية والعابرة للحدود تربط الجزائر بأوروبا.
- احتياطيات المياه الكبيرة.
- مراكز وجامعات بحثية نشطة وفعالة.
- نسيج صناعي متنامي.
- موقع جيواستراتيجي.
- تكلفة إنتاج الهيدروجين تنافسية للغاية.

الشكل09: مقارنة تكلفة الهيدروجين الذي يتم تسليمه إلى ألمانيا (الإنتاج + النقل) من مختلف البلدان، أفق 2040



المصدر:(*strategie_nationale_hydrogene_VF_2023*, s. d.)

يوضح الشكل 9 القدرات التنافسية للجزائر بفضل أصولها المتعددة وقربها من السوق الأوروبية، بحيث تستطيع الجزائر إنتاج وتقديم الهيدروجين الأخضر بتكاليف تنافسية للغاية، على عكس بعض الدول المنافسة التي ستعاني من تكاليف النقل المرتفعة نظرا لبعد المسافة.

وتحقيقا لهذه الغاية، تطمح إلى الاستفادة من إمكانياتها التقنية في مجال إنتاج الهيدروجين ومزاياها النسبية لإنتاج وتصدير ما بين 30 إلى 40 تيراواط ساعة في شكل هيدروجين غازي أو سائل و/أو مشتقاته. وتهدف هذه الكميات إلى تزويد السوق الأوروبية بحوالي 10% من احتياجاتها بحلول عام 2040. وعلى هذا النحو، ومع سعر بيع تنافسي للغاية لجزيء الهيدروجين هذا، يمكن للجزائر جذب حوالي 10 مليار دولار سنويا.

يضاف إلى ذلك حوالي 10 تيراواط ساعة من الهيدروجين النظيف (الأزرق) الذي سيتم إنتاجه لتلبية احتياجات السوق الوطنية.

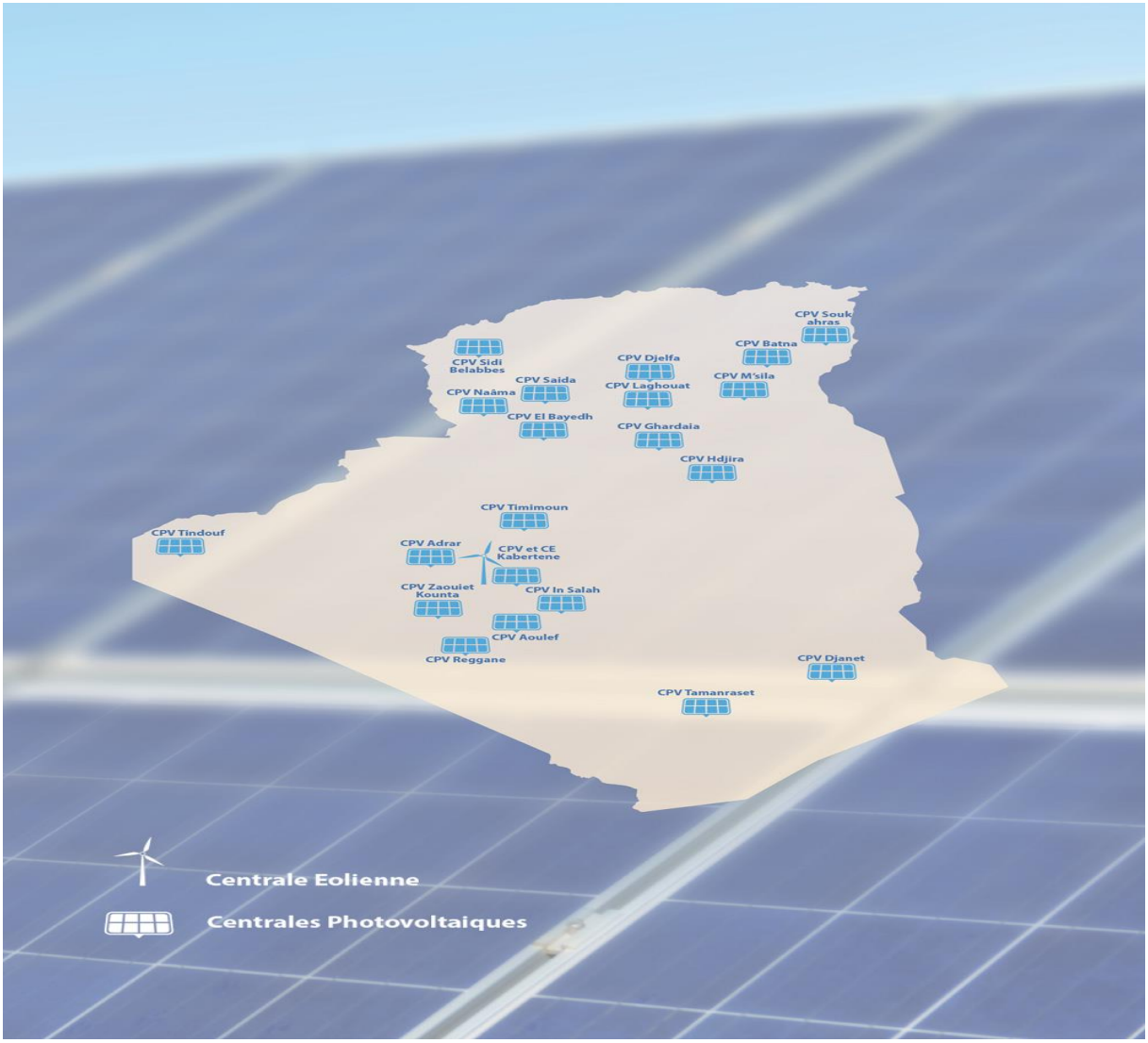
ولتحقيق هذا الهدف، ستسعى الجزائر في البداية إلى تنفيذ مشاريع تجريبية بقدرة 2 ميغاواط إلى 50 ميغاواط من قدرة التحليل الكهربائي مما يسمح لها باختبار تقنيات مختلفة لإنتاج واستخدام الهيدروجين ومشتقاته وتقييم "نماذج الأعمال المختلفة.(CEREFE, 2023)

- **مشاريع شركة سونلغاز لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية:**

تعتبر شركة سونلغاز الموزع الرسمي للطاقة الكهربائية والغاز في الجزائر، تمتلك شبكة واسعة لنقل وتوزيع الكهرباء بحيث لا تغطي فقط المناطق الساحلية المكتظة بالسكان، ولكن أيضا تمتد الى مناطق داخلية بعيدة غير مأهولة الى حد كبير نظرا لوجود صناعة النفط والغاز. يبلغ الطول الاجمالي لشبكة نقل وتوزيع الكهرباء الوطنية حوالي 20.000 كلم.

وفقا لشركة سونلغاز يشمل هذا الرقم خطوط النقل ذات جهد أقل من 60كيلو فولت ، أما خطوط النقل ذات جهد 400كيلو فولت يبلغ طولها حوالي 1300 كلم. حاليا تبذل شركة سونلغاز جهودا كبيرة من أجل تطوير شبكة خطوط النقل والتوزيع، اذ تخطط لإضافة أكثر من 10000كلم في السنوات العشر القادمة)رحماني, 2024.(

الشكل10:خريطة محطات توليد الطاقة الشمسية الضوئية والهوائية.



المصدر: موقع وزارة الطاقة و المناجم (*Ministry Of Energy And Renewable Energies*, s. d.)

لقد أنجزت الشركة عدة محطات لتوليد الطاقة من الشمس و الرياح عبر عدة محطات عبر الوطن و حسب موقعها الرسمي فإن إجمالي الطاقة الكهروضوئية المنتجة حاليا هي 501ميغاوات و الطاقة الهوائية 10.2 ميغاواتويوضح الشكل4 توزيع المحطات عبر مختلف مناطق الوطن.

كما تسعى الشركة إلى إنجاز عدة مشاريع أخرى جديدة مع استقطاب استثمارات أجنبية جديدة، وحسب البوابة الجزائرية للطاقات المتجددة، فإن هناك مشروع بناء خمسة عشر (15) محطة للطاقة الشمسية بقدرة إنتاجية تتراوح بين 80 و220 ميغاوات، وطاقة إجمالية تبلغ 2000 ميغاوات موزعة على 12 ولاية بالبلاد.

وبحسب السيدة حمرورمديرة نشاطات الإنتاج والهندسة بالشركةفإن "نحو 139 شركة سحبت كراسات الشروط الخاصة بالمشروع، من بينهم 36 جزائريا و103 أجانب من 26 جنسية وشركة مختلطة"، موضحة أن المشروع المعني "يتعلق ببناء خمس محطات في خمس ولايات بمساحة 1000 متر مربع". بقدرات تتراوح من 50 إلى 300 ميجاوات، بالإضافة إلى إنشاء شبكة النقل التي تربط كل من هذه المحطات بشبكة الكهرباء الوطنية. (*Sonelgaz relève le défi des projets énergétiques de «2.000 MW, et Solar 1.000 MW» – Portail algérien.*) وهذا في ظل برنامج رئيس الجمهورية الذي أطلقه منذ سنة 2020 الذي يسعى إلى بلوغ انتاج 15000 ميغاواط بحلول 2035.

المبحث الثاني: سياسات و استراتيجيات التحول الطاقوي في الجزائر

المطلب الاول: الإطار التشريعي والتنظيمي لاستغلال الطاقات المتجددة في الجزائر

تُعد المنظومة التشريعية والتنظيمية أحد الأعمدة الأساسية التي تقوم عليها السياسة الطاقوية في الجزائر، حيث لا يمكن الحديث عن انتقال طاقوي أو استغلال فعّال للطاقات المتجددة دون وجود أرضية قانونية ومؤسساتية واضحة ومتكاملة. ومن هذا المنطلق، عملت الدولة الجزائرية منذ نهاية تسعينيات القرن الماضي على إرساء منظومة تشريعية وتنظيمية تهدف إلى ترشيد استهلاك الطاقة، تنويع مصادرها، وتوجيه الاستثمارات نحو الطاقات النظيفة، بما يضمن الاستجابة لمتطلبات الأمن الطاقوي وتحقيق التنمية المستدامة.

1. الاطار التشريعي:

لقد أصدرت الجزائر منذ أواخر التسعينيات عدة نصوص قانونية تؤطر قطاع الطاقات المتجددة وتوجه استغلاله، ومن أهمها:

القانون رقم 99-09 المؤرخ في جويلية 1999 والمتعلق بالتحكم في الطاقة، يمثل هذا النص القانوني أول محاولة لتأسيس سياسة وطنية لترشيد استهلاك الطاقة. وقد نص على ضرورة وضع برامج للتحكم في الطلب على الطاقة وتطوير أدوات الترشيد، بما يضمن تقليل الهدر وتعزيز الكفاءة الطاقوية)الجريدة الرسمية الجزائرية, 1999(. ويُعد هذا القانون بمثابة قاعدة مرجعية لتغيير أنماط الاستهلاك التقليدية نحو أنماط أكثر استدامة.

القانون رقم 02-01 المؤرخ في 5 فيفري 2002 والمتعلق بالكهرباء والتوزيع العمومي للغاز، يُعتبر هذا القانون محطة أساسية في مسار إدماج الطاقات المتجددة، إذ نص بوضوح على إمكانية إنتاج الكهرباء من مصادر متجددة ودمجها في المنظومة الوطنية)الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية, 2002(، كما وضع قواعد تنظيمية لضمان ولوج منتجي الكهرباء من مصادر بديلة إلى الشبكة، وحدد الآليات القانونية التي تسمح بترقية الاستثمارات في هذا المجال، بما يُعزز تنافسية القطاع.

القانون رقم 04-09 المؤرخ في 14 أوت 2004 والمتعلق بترقية الطاقات المتجددة في إطار التنمية المستدامة، والذي جاء ليؤسس لمقاربة أكثر شمولية، إذشكل هذا القانون نقلة نوعية في السياسة الطاقوية الجزائرية، حيث وسّع نطاق الاهتمام ليشمل البعد البيئي والاجتماعي، من خلال النص على إعداد برنامج وطني لترقية الطاقات المتجددة. كما تضمّن تشجيع الاستثمارات الوطنية والأجنبية، ودعم المشاريع ذات الطابع المستدام، فضلًا عن النص على إنشاء المركز الوطني للطاقات المتجددةكإطار مؤسساتي يتكفل بالبحث العلمي، التطوير التكنولوجي، والدراسات التطبيقية.

يتضح أن المنظومة التشريعية الجزائرية الخاصة بالطاقات المتجددة لم تُصمم فقط لضبط الجوانب القانونية، بل جاءت لتضع أسسًا استراتيجية طويلة المدى، تجمع بين ترشيد الطاقة، إدماج الطاقات البديلة في الشبكة الوطنية، وضمان استدامة المشاريع عبر الإطار المؤسسي والعلمي.

2. -الاطار التنظيمي والمؤسساتي:

إن نجاح أي سياسة طاقوية لا يتوقف على الإطار التشريعي فحسب، بل يتطلب أيضًا وجود هياكل تنظيمية ومؤسسات بحثية وعلمية قادرة على تجسيد الأهداف المسطرة على أرض الواقع. ومن هذا المنطلق، حرصت الجزائر في إطار استراتيجيتها لترقية الطاقات المتجددة على إنشاء مؤسسات ومراكز متخصصة تُعنى بالبحث، التطوير، التجريب، ونقل التكنولوجيا. وقد ساهمت هذه الهياكل في توفير الدعامة العلمية والتكنولوجية اللازمة لدعم مشاريع الطاقات المتجددة وتعزيز إدماجها في النسيج الاقتصادي والاجتماعي الوطني(محمد & صفاء, 2017(.b .حنان & محمد, 2022)) (Himri et al., 2009) .

أ- المحافظة السامية للطاقات المتجددة

ب- مركز تنمية الطاقات المتجددة(CDER)

ج- وحدة تنمية الأجهزة الشمسية(UDES)

د- وحدة البحث في الطاقات المتجددة في الوسط الصحراوي(URERMS)

هـ- الشركة الجزائرية المختلطةNEAL

و- وحدة الأبحاث التطبيقية في مجال الطاقة المتجددة(URAER)

ز- وحدة البحث في الموارد والطاقات المتجددة(URMER)

المطلب الثاني: استراتيجية الانتقال الطاقوي كمدخل لضمان الأمن الطاقوي في الجزائر

تشير العديد من الدراسات إلى أن إنتاج النفط سيتناقص في السنوات القادمة نتيجة نضوب الاحتياطيات في العديد من مناطق العالم، وهو ما جعل الدول تبحث عن مصادر بديلة لضمان استمرارية أمنها الاقتصادي وفي الوقت نفسه تحقيق أمنها الطاقوي بعد

مرحلة ما بعد البترول(Bouznit et al., 2020). وفي هذا السياق، تُعد الجزائر من الدول المعنية بتنمية الطاقات المتجددة، إذ تُمكّن هذه الأخيرة من تعويض جزء مهم من الطاقة المنتجة من المحروقات التقليدية بطاقة نظيفة ومتجددة، بما يسمح بالمحافظة على الاحتياطات البترولية (Stambouli et al., 2012b).فالاحتياطات النفطية والغازية الجزائرية، وفقًا للمؤشرات المتوفرة حول الإنتاج والاستهلاك، تُعتبر محدودة نسبيًا إذا ما قورنت بالنمو الاقتصادي والديمغرافي المتسارع الذي تعرفه البلاد. وهو ما يجعل من مسألة ضمان الأمن الطاقوي تحديًا مستقبليًا يستوجب تبني استراتيجية وطنية تقوم على تنويع مصادر الطاقة وتوسيع حصة الطاقات المتجددة في المزيج الطاقوي.

تُوفر الطاقات المتجددة بدائل متنوعة، تأتي في مقدمتها الطاقة الشمسية التي تُعد من أهم الموارد الطبيعية التي تمتلكها الجزائر، حيث تستقبل البلاد أكثر من 3000 ساعة شمسية سنويًا، وهو ما يمنحها إمكانات هائلة لتحويل هذه الطاقة إلى كهرباء أو حرارة باستخدام تقنيات حديثة. وقد بدأت الجزائر منذ نهاية التسعينيات في تجسيد مشاريع فعلية بهذا الخصوص، إذ شهد الجنوب الجزائري سنة 1998 إنشاء أول قرية تعمل بالكامل بالطاقة الشمسية بطاقة إنتاجية تقدَّر بـ 730 ألف كيلواط، ارتفعت لاحقًا إلى 725.5 ألف كيلواط سنة 2002، مما سمح بتزويد نحو 1000 مسكن عبر 20 قرية بالكهرباء النظيفة). سمية(et al., 2018

–البرنامج الوطني للطاقات المتجددة :

إن إدماج الطاقات المتجددة في مزيج الطاقة الوطنية يُمثل تحديًا استراتيجيًا للحفاظ على الموارد الأحفورية وتنويع مصادر إنتاج الكهرباء، فضلًا عن المساهمة في تحقيق التنمية المستدامة. وقد وضعت الجزائر برنامجًا وطنيًا طموحًا(2011–2030)، يهدف إلى جعل الطاقات المتجددة في صميم السياسات الطاقوية والاقتصادية للبلاد، خاصة من خلال تطوير الطاقة الشمسية والرياحية على نطاق واسع، بالإضافة إلى إدخال فروع أخرى مثل الكتلة الحيوية، استرجاع النفايات، الطاقة الحرارية الأرضية، والطاقة الشمسية الحرارية).الطيف & كوراد, 2019(

ويستهدف هذا البرنامج تغطية احتياجات وطنية متزايدة خلال الفترة 2015–2020 بقدرة إجمالية تُقدّر بـ 22.000 ميغاواط، منها 4500 ميغاواط كان من المفترض إنجازها بحلول 2020.(Bouznit et al., 2020) وقد تم توزيع هذه القدرات حسب المجالات التكنولوجية على النحو التالي:

–الطاقة الشمسية: 575.13 ميغاواط

–طاقة الرياح: 5010 ميغاواط

–الطاقة الحرارية: 2000 ميغاواط

–الكتلة الحيوية: 1000 ميغاواط

–التوليد المشترك للطاقة: 400 ميغاواط

-الطاقة الحرارية الأرضية: 15 ميغاواط

وبتحقيق هذا البرنامج، يُتوقع أن تصل مساهمة الطاقات المتجددة بحلول 2030 إلى نحو 27% من الحصيلة الوطنية لإنتاج الكهرباء، أي ما يعادل إدخال 22.000 ميغاواط من الطاقات المتجددة في الشبكة الوطنية. ومن شأن ذلك أن يسمح باقتصاد ما يقارب 300 مليار متر مكعب من الغاز الطبيعي، أي ما يعادل ثماني مرات الاستهلاك الوطني لسنة 2014.

ويُفتح تنفيذ هذا البرنامج أمام المستثمرين من القطاعين العام والخاص، الوطنيين والأجانب، في حين تتولى الدولة دعمه ماليًا من خلال الصندوق الوطني للطاقات المتجددة والإنتاج المزدوج.

وفي إطار تدعيم هذا البرنامج، أنشأت الحكومة الجزائرية عدة هياكل بحثية وعلمية منها:

-المعهد الجزائري للبحث والتطوير في الطاقات المتجددة

-مركز البحث والتطوير للكهرباء والغاز

-الوكالة الوطنية لترقية وترشيد استعمال الطاقة(APRUE)

-مركز تطوير الطاقات المتجددة(CDER)

-وحدة تطوير معدات الطاقة الشمسية

تسعى الجزائر من خلال استراتيجية الانتقال الطاقوي إلى ضمان أمنها الطاقوي والاقتصادي، عبر الاستثمار في الطاقات المتجددة وتوسيع استخدامها في مزيج الطاقة الوطني، بما يُحقق التوازن بين استغلال الموارد التقليدية والحفاظ على البيئة، ويؤسس لتنمية مستدامة قائمة على مصادر نظيفة وغير قابلة للنضوب.

المطلب الثالث: برنامج تشجيع الاستثمار الأجنبي المباشر في الطاقات المتجددة بالجزائر

رغم ما تتمتع به الجزائر من وفرة في الموارد الطاقوية التقليدية، خاصة البترول والغاز الطبيعي، التي تلبي أكثر من 99% من حاجياتها الطاقوية، فإن الاعتماد شبه الكلي على هذه المصادر يجعل مستقبلها الطاقوي رهينًا بتقلبات الأسواق العالمية وتكاليف الاستخراج المتزايدة، فضلًا عن تهديد نضوبها على المدى المتوسط والبعيد. هذا الوضع فرض على الجزائر البحث عن بدائل مستدامة، وفي مقدمتها الطاقات المتجددة، باعتبارها خيارًا استراتيجيًا لتأمين الأمن الطاقوي وتحقيق التنمية المستدامة.

ولأجل ذلك، اعتمدت الدولة برنامج الطاقات المتجددة والفعالية الطاقوية (2011–2030)، الذي حدد هدفًا استراتيجيًا يتمثل في رفع نسبة مساهمة الطاقات المتجددة في إنتاج الكهرباء الوطني إلى ما لا يقل عن 30% بحلول سنة 2030. غير أن تجسيد هذا الهدف يتطلب استثمارات ضخمة تتجاوز القدرات المحلية، مما استدعى اللجوء إلى استقطاب الاستثمار الأجنبي المباشر (IDE) وتوفير بيئة قانونية ومؤسساتية مشجعة(Hallam, 2018).

ومن أجل تشجيع المستثمرين المحليين والأجانب على إنشاء مشاريع لإنتاج الكهرباء من مصادر متجددة، وضعت الدولة مجموعة من الآليات، أهمها: عقود طويلة الأجل بأسعار مناسبةتضمن استقرار الاستثمارات ونقل التكنولوجيا. وقد تُوج ذلك بصدور قانون تعريفة الشراء المضمونة للكهرباء ذات الأصل المتجددكإطار تحفيزي ورؤية إستراتيجية واضحة(bousbaine, 2021).

من أبرز الإجراءات القانونية التي اتخذتها الجزائر:

– تعريفة الشراء المضمونة للكهرباء ذات الأصل المتجدد :

صدر القانون بتاريخ 3 فيفري 2011، في إطار البرنامج الوطني لتطوير الطاقات المتجددة والفعالية الطاقوية (2011–2030)، استنادًا إلى الإمكانات الهائلة التي تتمتع بها الجزائر، خاصة في مجال الطاقة الشمسية، والتي يمكن أن تُساهم بنسبة تفوق 37% من الإنتاج الوطني للكهرباء بحلول 2030.

وفي هذا السياق، صدر القرار التنظيمي بتاريخ 2 فيفري 2014، والذي يحدد الترتيبات النظامية المتعلقة بالطاقات المتجددة، ويطمح لإنجاز محطة بقدرة إنتاج تصل إلى 12.000 ميغاواط من أصل متجدد بحلول 2030، أي ما يعادل 40% من إجمالي إنتاج الكهرباء.

ويتضمن هذا الإطار ما يلي(CREG, 2015):

-الإنتاج المشترك للكهرباء:(Cogénération) أي الإنتاج المزدوج للحرارة والكهرباء من طرف نفس المتعامل، مع استهلاك جزء منها وبيع الفائض.

-تحديد أسعار الكهرباء الخضراء: اعتماد منظومة أسعار مضمونة لشراء الكهرباء المنتَجة من مصادر متجددة، حيث تكون هذه التعريفات قابلة للمراجعة كل خمس سنوات، استنادًا إلى قياسات الطاقة في المحطات التجريبية، بهدف ضبط التسعيرة الجديدة وتطبيقها من السنة السادسة إلى السنة العشرين.

-جاذبية الأسعار: تتميز هذه التعريفات بجاذبيتها الكبيرة للمستثمرين والصناعيين، إذ تضمن لهم استقرارًا ماليًا واستثماريًا لفترة لا تقل عن 20 سنة، خاصة للمنتجين الذين يدمجون إنتاجهم في الشبكة الوطنية (الإنتاج المركزي)

-إلزامية شراء الكهرباء المتجددة من طرف الموزع: لا يحق للموزع رفض شراء أو التفاوض على أسعار الطاقة المتجددة، وتتحمل الدولة الفارق بين تكلفة الكهرباء التقليدية والمتجددة عبر الصندوق الوطني للطاقات المتجددة (FNER) ، الذي يُمول من خلال اقتطاع 1% من الضريبة البترولية.

المبحث الثالث: تحديات التحول الطاقوي في الجزائر

تواجه الجزائر عدة تحديات في مسار انتقالها الطاقوي، أبرزها البُعد الجغرافيبين مراكز الإنتاج ومناطق الاستهلاك؛ إذ تتركز مراكز الطلب في الشمال المكتظ عمرانيًا، بينما تتوافر إمكانات الطاقة الشمسية في الجنوب الصحراوي واسع المساحة. كما تُعد ارتفاع

تكاليف إنشاء المحطات الشمسيةمن أبرز العقبات، حيث تفوق كلفتها في الجزائر بنحو 30% المتوسط العالمي، بسبب الظروف المناخية القاسية وعوامل لوجستية وتقنية أخرى(Fattouh & El-Katiri, 2013).

المطلب الأول: تحديات اقتصادية

يُعَد تمويل الانتقال الطاقوي أحد أبرز التحديات التي تواجه الجزائر، نظرًا لأنّ مشاريع الطاقة المتجددة، رغم انخفاض تكلفتها التكنولوجية في السنوات الأخيرة، لا تزال تحتاج إلى استثمارات رأسمالية ضخمة، وتتوفر أمام الجزائر ثلاثة مصادر رئيسية للتمويل: الأموال العامة، الصناديق الخاصة المحلية، والاستثمار الأجنبي المباشر.

في ظلّ الأزمة الاقتصادية الراهنة، تتزايد الضغوط على الميزانية العامة لتلبية الاحتياجات الاجتماعية والاقتصادية العاجلة، ما يجعل مساهمة الأموال العامة في تمويل الانتقال الطاقوي محدودة على المدى القصير. ومع ذلك، تكشف التجارب السابقة عن وجود اختلالات هيكلية في إدارة الموارد المالية، تمثلت في الهدر وسوء التسيير وتفشي الفساد، وهو ما يفرض ضرورة إصلاح المنظومة المالية والإدارية لتحقيق انتقال طاقوي فعّال وعادل.

ويُعد تعزيز الشفافية ومكافحة الفساد شرطًا أساسيًا لجذب الاستثمارات وتوجيه الموارد بفعالية نحو مشاريع الطاقة النظيفة. كما ينبغي للدولة أن تلعب دورًا قياديًا في تمويل هذا التحول عبر تخصيص جزء أكبر من الميزانية الوطنية للمشاريع الطاقوية المستدامة، والدفاع عن تمويلات مناخية دولية لدعم جهود الانتقال نحو الاقتصاد الأخضر. وعندما تشهد أسعار النفط ارتفاعًا، كما هو الحال في الفترات الأخيرة، يمكن استغلال الفوائض المالية لإنشاء صناديق سيادية مخصّصة لتمويل مشاريع الانتقال الطاقوي، مما يتيح تمويلًا وطنيًا مستدامًا لتحديث منظومات الطاقة وتطوير البنية التحتية في هذا القطاع الاستراتيجي.

تعكس الأوضاع الداخلية في الجزائر نقص الإرادة السياسية في تمويل الانتقال الطاقوي، رغم إدراك أهمية التحول نحو الطاقات المتجددة. فعلى الرغم من إنشاء الصندوق الوطني للطاقات المتجددة سنة 2015 بهدف تمويل البرامج والمشاريع الخضراء، إلا أنه لم يُفعّل فعليًا بسبب غياب الأطر القانونية والتنظيمية التي تحدد كيفية استخدام موارده وتوزيعها، مما جعله مجرد آلية مالية غير مستغلة. تتبنّى الجزائر سياسة سيادية صارمة تجاه التمويل الخارجي، إذ تحظر الاستدانة الخارجية وتفرض قيودًا على الاستثمار الأجنبي في القطاعات الاستراتيجية، بما في ذلك الطاقة، حيث يُلزم الإطار القانوني الشركاء الأجانب بعدم تجاوز نسبة 49% من رأس المال مقابل 51% للشركاء الجزائريين. ومع ذلك، وتحت ضغط اللوبيات الرأسمالية العالمية والمحلية التي اعتبرت أن البيئة الاستثمارية في الجزائر غير آمنة وجامدة، تم التخلي عن قاعدة 51/49 في مشاريع الطاقات المتجددة بغية جذب المستثمرين الأجانب وتحفيز تدفق رؤوس الأموال والتكنولوجيا.

ورغم هذا الانفتاح النسبي، فإن القطاع الخاص الجزائري لا يزال يتردد في الاستثمار في مشاريع الطاقات المتجددة، إذ تميل معظم رؤوس الأموال المحلية وخاصة الصناديق العائلية إلى المشاريع ذات الربحية السريعة، بينما تتسم مشاريع الطاقة المتجددة بكونها طويلة الأمد وضعيفة العائد في المدى القصير. أضف إلى ذلك أن فقدان الثقة الناتج عن عقدٍ من الوعود غير المنجزة والمشاريع المؤجلة

جعل العديد من المستثمرين المحليين يشككون في جدية الدولة وقدرتها على تنفيذ برامجها الطاقوية. ومع ذلك، فقد شهدت بعض المبادرات الإيجابية المحدودة، حيث قام عدد من المستثمرين الخواص منذ إطلاق البرنامج الوطني للطاقات المتجددة سنة 2011 بمحاولات لإنشاء سلسلة قيمة محلية في مجال الطاقة الشمسية الكهروضوئية، سواء عبر تجميع الألواح أو تطوير وحدات صغيرة للإنتاج. ورغم تواضع هذه المبادرات، إلا أنها تُعد نواة أولى نحو إشراك القطاع الخاص في مسار الانتقال الطاقوي، شريطة توافر بيئة مؤسساتية وتنظيمية أكثر استقرارًا وشفافية تعيد الثقة للمستثمرين المحليين والدوليين على حد سواء.

ما تزال الدولة تهيمن على سوق الطاقة في الجزائر من خلال مؤسساتها العمومية، وعلى رأسها شركة سونلغاز، غير أن نموذجها الاقتصادي القائم على الدعم الشامل أصبح غير مستدام. وقد أدى ذلك إلى تصاعد الدعوات نحو إصلاح هذا القطاع من خلال إدخال إصلاحات تقنية وإدارية ومالية تجعل الشركة أكثر كفاءة وشفافية. كما يُعد إصلاح منظومة الدعم تدريجيًا خطوة ضرورية لضمان توازن السوق واستدامة الموارد. تتحمل الدولة حاليًا عبئًا ماليًا كبيرًا نتيجة سياسة الدعم، حيث يبلغ سعر الكهرباء للأسر حوالي 0.038 دولار فقط، أي ما يعادل سبع السعر الحقيقي تقريبًا، فيما تدفع الشركات 0.033 دولار (Francisco, 2022). وهي أسعار تقل كثيرًا عن تكلفة الإنتاج الفعلية التي تصل إلى ثلاثة أضعاف هذا المبلغ. هذا الدعم المباشر، إلى جانب الإعانات غير المباشرة للوقود الأحفوري الذي تعتمد عليه الكهرباء، يؤدي إلى تشوهات اقتصادية ويثقل كاهل المالية العامة.

ورغم أن الدعم يُبرر في ظاهره بمساعدة الفئات الضعيفة، إلا أن المستفيد الأكبر منه هم الفئات الغنية وأصحاب رؤوس الأموال الذين يستهلكون الطاقة بكميات أكبر. لذلك، فإن إصلاح الدعم بشكل تدريجي وعادل يُعد ضرورة سياسية واقتصادية ملحّة، بحيث يُعاد توجيهه نحو الطبقات الفقيرة والمتوسطة، بينما يُرفع تدريجيًا عن الفئات الميسورة، لتحقيق عدالة اجتماعية وضمان فعالية النظام الطاقوي الوطني في المدى الطويل(Akrofi & Antwi, 2020). ومع تفاقم الأوضاع بسبب الآثار الاقتصادية لجائحة كوفيد-19 التي وجهت ضربة قوية للاقتصاد الوطني وكذلك، لتجعل من أي توجه نحو إلغاء شامل لدعم الطاقة خطوة غير ممكنة سياسيًا في المدى القريب، فضلًا عن كونها غير عادلة اجتماعيًا في ظل تأزم الأوضاع الاجتماعية خلال السنوات الأخيرة.

رغم التصريحات المتكررة للنخب السياسية حول دعم الطاقات المتجددة، لم تحرز الجزائر تقدمًا ملموسًا في تمويل الانتقال الطاقوي من أي من مصادره الثلاثة. كما ضيّعت فرصة ثمينة خلال فترة الطفرة النفطية بين 2004 و2014، حين كان بإمكانها استثمار العائدات المرتفعة في تنويع الاقتصاد وبناء قاعدة صناعية وتحقيق انتقال طاقوي فعلي يخلق وظائف خضراء. بدلًا من ذلك، استأثرت النخبة الفاسدة بجزء كبير من تلك الأرباح دون توظيفها في مشاريع تنموية مستدامة(Ozili, 2022).

المطلب الثاني: تحديات تقنية

تعاني الجزائر من ضعف واضح في الخبرة والتكنولوجيا في مجال الطاقات المتجددة، على خلاف تجربتها الطويلة في قطاعي النفط والغاز. ويُعزى ذلك إلى تراجع الاهتمام السياسي بالتكنولوجيا الخضراء، وإلى تدهور القاعدة الصناعية منذ تطبيق الإصلاحات النيوليبرالية في الثمانينيات، التي أدت إلى إغلاق المعاهد التقنية المتخصصة وإضعاف منظومة التكوين الصناعي والهندسي (AE, 2021). كما أدى تفكيك التعليم التقني إلى نقص حاد في الكفاءات القادرة على دعم برامج الانتقال الطاقوي (World

(Bank, 2024 ، لذلك تحتاج الجزائر إلى تعزيز البحث التطبيقي والتدريب العملي، إضافة إلى نقل التكنولوجيا والخبرة الإدارية من الدول التي نجحت في إدارة انتقالها الطاقوي، مع العمل على تجاوز القيود المفروضة من أنظمة الملكية الفكرية والاحتكارات التكنولوجية العالمية لبناء قدراتها البشرية والمادية المستقلة.

يُعدّ التحكم في التكنولوجيا والتصنيع من أصعب تحديات الانتقال الطاقوي في دول الجنوب العالمي، إذ يمثلان الأساس لتحقيق التكامل الاقتصادي اللازم لبناء اقتصاد أخضر مستدام يوفر فرص عمل خضراء. ويتطلب ذلك تحولًا جذريًا من النهج النيوليبرالي نحو نموذج اقتصادي أكثر تدخلاً من الدولة، يعتمد على استثمارات عمومية فاعلة ويدعمه تمويل مناخي من الدول المتقدمة. كما يُعدّ تطبيق شرط المكوّن المحلي خطوة أساسية في هذا المسار، إذ يُلزم الشركات باستخدام السلع والخدمات المنتَجة محليًا مقابل السماح لها بالنشاط في السوق الوطنية، ما يسهم في تطوير صناعة طاقات متجددة وطنية قوية ومستقلة في الجزائر.

يُفترض أن يضطلع مقدّمو العروض المختارون لتنفيذ مشاريع الطاقة المتجددة بدور فاعل في استراتيجية صناعية وطنية تهدف إلى تطوير مكونات الطاقة الشمسية محليًا، مما يسهم في إنشاء اقتصاد وطني للطاقة الشمسية ويخفض التكاليف عبر تقليص الاعتماد على المواد المستوردة(Chavez, 2021).ورغم أن هذه المقاربة يمكن أن تعزز الاقتصاد الوطني وتخلق فرص عمل جديدة، فإن تطبيقها في الجزائر يواجه صعوبات كبيرة بسبب ضعف النسيج الصناعي المحلي وعدم اكتمال سلسلة القيمة، إلى جانب محدودية توافق المنتجات الوطنية مع المعايير الدولية. في المقابل، يطالب بعض المستثمرين الأجانب بإلغاء شرط المكوّن المحلي باعتباره عائقًا استثماريًا، لكن التخلي عنه قد يؤدي إلى تقويض فرص تطوير الصناعة الوطنية واليد العاملة المحلية.لذلك، من الضروري البحث عن آليات فعالة لتعزيز القدرات التكنولوجية الوطنية من خلال تجاوز القيود المفروضة بنظام الملكية الفكرية والاحتكارات التقنية الغربية، وبناء شراكات استراتيجية متوازنة مع دول الجنوب الصاعدة مثل الصين، بما يضمن نقلًا حقيقيًا للتكنولوجيا وبناء قاعدة صناعية مستدامة في مجال الطاقات المتجددة.

المطلب الثالث: تحديات مؤسساتية

يعدّ ضعف الحوكمة وغياب استراتيجية طاقوية طويلة المدى من أبرز العقبات التي تعرقل مسار الانتقال الطاقوي في الجزائر. فرغم تبنّي الحكومة خططًا طموحة لتنمية الطاقات المتجددة، إلا أن تنفيذها ظل محدودًا بسبب تشتت المبادرات، وسوء التنسيق، وضعف الإرادة السياسية. كما تُعيق البيروقراطية والفساد تفعيل القوانين والسياسات المنظمة للقطاع، سواء كانت مستوحاة من تجارب أجنبية أو صيغت محليًا.

يتسم قطاع الطاقة في الجزائر بالمركزية الشديدة، إذ تهيمن عليه وزارتا الطاقة والتعدين، إلى جانب شركتي سوناطراك وسونلغاز، مما يقلل من فرص مشاركة الفاعلين المحليين والمجتمع المدني في صنع القرار. كما يعزز النظام الإداري القائم على التعيين من الأعلى ضعف المبادرات المحلية وغياب الابتكار في السياسات. ولتحقيق انتقال طاقوي فعّال، تحتاج الجزائر إلى نموذج حوكمة أكثر تشاركية وشفافية، يُشرك المواطنين في مناقشة قضايا الطاقة والمناخ واقتراح الحلول. فإشراك الأفراد في القرار يعزز إحساسهم بملكية الموارد العمومية

ويشجعهم على تبني سلوكيات طاقوية مسؤولة. إن بناء الثقة بين الدولة والمجتمع عبر الانفتاح والمساءلة، واعتماد مقاربة لامركزية تسمح للمواطنين بالمشاركة في إنتاج واستهلاك الطاقة، يُعدّ خطوة أساسية نحو تحقيق ديمقراطية الطاقة في الجزائر.

ورغم هذه التبعات الكارثية، ما زال البعد المناخي غائبًا إلى حدّ كبير عن السياسات الطاقوية الجزائرية، ويُعزى ذلك جزئيًا إلى ضعف الدور المؤسسي لوزارة البيئة وغياب التنسيق الفعّال بينها وبين القطاعات الاقتصادية الحيوية. لذا، أصبح من الضروري دمج المتغير المناخي في السياسات والاستراتيجيات الطاقوية المستقبلية، من خلال تبنّي مقاربات أكثر تكاملًا تربط بين الأمن الطاقوي، والأمن المائي، والغذائي، والبيئي لضمان استدامة التنمية في البلاد(IEA, 2020).

في الجزائر، أثبتت مقاربات الخصخصة وضعف الاستثمار العام فشلها في تحقيق التحول الطاقوي المنشود، نتيجة العجز المالي والتكنولوجي، وغياب رؤية استراتيجية طويلة المدى. ومن ثمّ، فإنّ نجاح عملية الانتقال يتطلب إرادة سياسية واضحة تدعم قطاع الطاقة العمومي وتعيد هيكلته على أسس الكفاءة والشفافية، مع إشراك القطاع الخاص بشكل منضبط وموجَّه في المشاريع الطاقوية، في إطار حوكمة تشاركية ديمقراطية تضمن المساءلة وتوظف الموارد لخدمة التنمية الوطنية المستدامة بدلًا من منطق الربح القصير الأجل.

المطلب الرابع: تحديات اجتماعية

تُظهر التطورات الاقتصادية الأخيرة أن الجزائر في حاجة ماسة إلى انتقالٍ طاقيٍّ عادل يضمن لها الاستقرار الاقتصادي والاجتماعي بعيدًا عن التبعية المطلقة للمحروقات. فعلى الرغم من أن الطفرة النفطية في سنوات الألفين ساعدت على تحقيق فائض مالي وتمويل مشاريع كبرى، فإن انهيار أسعار النفط منذ 2014 كشف هشاشة النموذج الاقتصادي القائم على الريع الطاقوي، إذ انخفضت مداخيل التصدير بشكل حاد وتراجعت احتياطات الصرف من أكثر من 120 مليار دولار سنة 2016 إلى نحو 42 مليار دولار في 2021(Hanna & Danae, 2022).

تبيّن الأزمة أن الاقتصاد الجزائري شديد الحساسية لتقلبات الأسواق العالمية، ما يجعله عرضة للانكماشات المتكررة، كما فاقم وباء كوفيد-19 من حدّة الوضع من خلال تقلّص النمو وارتفاع العجز المالي وتراجع الإنفاق العمومي، وهو ما أضعف قدرة الدولة على تمويل التحول الطاقوي. ورغم الانتعاش النسبي في أسعار النفط خلال 2021 ثمّ ارتفاعها بعد الحرب في أوكرانيا، فإن هذا التحسّن يحمل في طيّاته خطرًا هيكليًا يتمثل في تكريس الذهنية الريعية والاستخراجية لدى صُنّاع القرار، بدل توجيه الفوائض نحو بناء اقتصاد متنوع قائم على الطاقة النظيفة. فارتفاع الأسعار قد يدفع الحكومة إلى الاعتماد مجددًا على تصدير الغاز والنفط بدل الاستثمار في بدائل مستدامة، خاصة مع سعي أوروبا لتعويض الغاز الروسي بالغاز الجزائري.

تُحتِّم التحديات المستقبلية على الجزائر إحداث تحول مزدوج وسريع يشمل الجانبين الاقتصادي والطاقوي معًا. فمن الناحية الاقتصادية، يتطلّب الأمر الانتقال من اقتصاد ريعي يعتمد بشكل شبه كلي على عائدات الوقود الأحفوري إلى اقتصاد متنوع قائم على القطاعات الإنتاجية المستدامة كالصناعة والزراعة والخدمات ذات القيمة المضافة، مع تعزيز الإنتاج المحلي وتقليص التبعية للاستيراد. أما على

الصعيد الطاقوي، فينبغي للجزائر أن تتجه نحو تحول جذري في بنية إنتاج واستهلاك الطاقة، من خلال تقليص الاعتماد على الوقود الأحفوري لصالح مصادر أنظف وأكثر استدامة مثل الطاقة الشمسية والرياح، مع تبنّي التقنيات الخضراء الحديثة. كما يجب أن يواكب هذا التحول إصلاح في إدارة الطاقة يراعي البعد الاجتماعي والعدالة الطاقوية، بما يضمن وصول الطاقة إلى الجميع بشكل منصف ومستدام ويجعلها رافعة لتحقيق الرفاه الإنساني والتنمية الشاملة. لذلك، يُصبح من الضروري أن تتجه الدول المنتجة، ومن بينها الجزائر، نحو سياسات تدريجية للتخلي عن الإنتاج الأحفوري، مع التركيز على تنويع مصادر الطاقة وتطوير بدائل نظيفة مثل الهيدروجين الأزرق والأخضر. ويُعد استقرار الأسعار في الأسواق العالمية، والتحكم في وتيرة خفض الإنتاج، من أهم الأولويات لضمان انتقال طاقوي منظم وآمن يحافظ على الاستقرار الاقتصادي ويستجيب في الوقت ذاته للالتزامات المناخية الدولية.

تُعدّ الطفرة الحالية في أسعار النفط فرصة نادرة أمام الجزائر لتوجيه موارد مالية ضخمة نحو تسريع الانتقال الطاقي وتنويع الاقتصاد، بما يضمن حماية السيادة الوطنية ومستقبلًا مستدامًا للأجيال القادمة. ولتحقيق ذلك، ينبغي للحكومة إعطاء أولوية قصوى للاستثمار في الطاقات المتجددة، بدعم من منح مناخية من دول الشمال لمساعدة الجزائر على التكيف مع التغير المناخي. كما يمكن أن يشكل تصدير الهيدروجين الأخضر وسيلة للحفاظ على مكانة البلاد كمصدر موثوق للطاقة في مرحلة ما بعد المحروقات، شريطة أن تُدمج الطاقات المتجددة بشكل واسع في المزيج الطاقوي الوطني، إذ إن التركيز على مشاريع تصديرية فقط دون تطوير البنية الطاقوية المحلية سيُعمّق التبعية الاقتصادية ويؤخر التحول المنشود.

يمكن للجزائر أن تعتمد مجموعة من أدوات السياسة لضمان تخلٍّ تدريجي عادل عن النفط والغاز55 ، بما يحمي الفئات المتأثرة بهذا التحول. ولتحقيق ذلك، ينبغي للحكومة تطوير سياسات تشاركية تنطلق من القاعدة نحو القمة، تركّز على حماية العمال وأسرهم والمجتمعات المحلية المتضررة من إغلاق صناعات المحروقات. كما يُستحسن إنشاء هيئة مختصة لتحديد الفئات والمناطق الأكثر تضررًا، بهدف توجيه الدعم المالي وإجراءات إعادة التأهيل إليها. ومن الضروري أيضًا إطلاق برامج تدريبية في "المهارات الخضراء" لتمكين هؤلاء العمال من الاندماج مجددًا في سوق العمل، خاصة في قطاعات الطاقة النظيفة والمستدامة.

تقتضي حماية المجتمعات من الآثار السلبية لعملية الانتقال الطاقوي تبنّي حوكمة ديمقراطية وآليات تشاركية تبدأ من القاعدة الشعبية. ويُعدّ توعية المواطنين بمخاطر التغير المناخي وأهمية الانتقال نحو الطاقة المستدامة، عبر المدارس والمساجد ووسائل الإعلام والتعليم الديني، خطوة أساسية لغرس حسّ المسؤولية البيئية. كما ينبغي إشراك الشباب وتعزيز التضامن مع المجتمعات المحلية التي تواجه آثار التغير المناخي، من خلال ربطها بالحركة العالمية للعدالة المناخية. ويمكن أن يُشكل إنشاء لجان قاعدية ووزارة خاصة، أو قسم ضمن وزارة قائمة، لإدارة الانتقال العادل، وسيلة فعالة لتنظيم الجهود. بالإضافة إلى ذلك، فإن الاستفادة من التجارب الدولية، خصوصًا تجارب التخلص التدريجي من الفحم في عدد من الدول، تمثل مصدرًا مهمًا للتعلّم حول كيفية إدارة التحول من النفط والغاز بطريقة عادلة وشاملة.

خلاصة الفصل:

في ختام هذا الفصل، تم تحليل واقع التحول الطاقوي في الجزائر من خلال دراسة وضع قطاع الطاقة، وإبراز إمكانيات الطاقات المتجددة، إضافة إلى استعراض السياسات المعتمدة والتحديات التي تعيق هذا المسار. وقد أظهر التحليل أن الجزائر تمتلك إمكانيات طبيعية هائلة، خاصة في مجال الطاقة الشمسية، غير أن استغلالها لا يزال محدودًا بفعل مجموعة من القيود الاقتصادية، التقنية، والمؤسساتية.

وبناءً على ما سبق، يمكن تحديد مجموعة من المحددات الرئيسية التي تؤثر على مسار التحول الطاقوي في الجزائر، والتي تشمل بالأساس العوامل الاقتصادية والمالية، إلى جانب العوامل التكنولوجية والمؤسساتية، فضلًا عن درجة انفتاح الاقتصاد وجاذبيته للاستثمار. وتؤثر هذه المحددات بدرجات متفاوتة على استهلاك الطاقات المتجددة، الذي يُعد مؤشرًا أساسيًا لقياس مدى تقدم التحول الطاقوي.

وانطلاقًا من هذا التحليل، سيتم في الفصل الثالث ترجمة هذه المحددات إلى متغيرات كمية قابلة للقياس، واختبار أثرها على استهلاك الطاقات المتجددة باستخدام نموذج قياسي، بهدف تحديد طبيعة العلاقة بينها وقياس مدى تأثيرها في الحالة الجزائرية.

الفصل الثالث

الدراسة القياسية

لمحددات التحول

الطاقوي في الجزائر

تمهيد:

في ضوء التغيرات العميقة التي تشهدها قطاع الطاقة الدولي، فإن الضغط المتزايد على أنظمة الطاقة هو نتيجة مباشرة للنمو الاقتصادي المستدام، وزيادة عدد السكان، وارتفاع الطلب على الطاقة. بعبارة أخرى، بسبب القلق المتزايد بشأن جوانب مثل أمن الطاقة، وتقلب الأسعار، والاستدامة، فإن الشركات الكبرى مثل شركتنا تسعى إلى إيجاد حلول جديدة للطاقة. وهذا على الرغم من استخدام أشكال الطاقة التقليدية التي آخذة في النضوب وتعد من المساهمين الرئيسيين في انبعاثات الكربون.

ونتيجة لذلك، أصبحت الطاقة المتجددة محورًا للاستراتيجيات الحالية الرامية إلى تحقيق التنمية الاقتصادية المستدامة .تناولت الفصول السابقة من هذه الدراسة الأبعاد المفاهيمية والنظرية والهيكلية للطاقة المتجددة. غير أن هذا الفصل يغير محور التحليل إلى تحليل العلاقات الاقتصادية التجريبية الناشئة عن استخدام الطاقة المتجددة. تشير تعقيدات أنظمة الطاقة وتنوع الظروف الاقتصادية على مدى فترات وظروف مختلفة إلى أن آثار الطاقة المتجددة لا يمكن وصفها فقط. ومن الضروري وجود إطار كمي قوي لنمذجة سلوك الطاقة المتجددة، حيث إنها تتغير مع تغير العوامل الاقتصادية المهمة.

ومن هذا المنطلق، يسعى هذا الفصل إلى دراسة العلاقات بين الطاقة المتجددة ومتغيرات اقتصادية مختارة بطريقة تجريبية لتوفير فهم أفضل لسلوكها في مختلف حالات الاقتصاد. وتُعرض المتغيرات التي تناقشها هذه الدراسة في هذه المرحلة من البحث، حيث إنها لا تظهر إلا في سياق تجريبي تطبيقي وليس في مناقشة نظرية. يستند هذا الاختيار إلى الأدبيات ويستند إلى الروابط الهيكلية بين استخدام الطاقة والنشاط الاقتصادي والتنمية التي تعكسها.

وفي هذا الإطار، يسعى هذا الفصل إلى تناول الإشكالية محل الدراسة من خلال مقاربة تحليلية تطبيقية، تهدف إلى فحص العلاقات الاقتصادية المرتبطة بموضوع البحث بصورة كمية. ولتحقيق ذلك، تم تقسيم هذا الفصل إلى ثلاثة مباحث رئيسية؛ خُصِّص المبحث الأول لتعريف متغيرات الدراسة وبيان دلالاتها الاقتصادية، في حين ركّز المبحث الثاني على بناء النموذج القياسي المعتمد في التحليل التجريبي. أما المبحث الثالث، فقد أُفرد لعرض نتائج التقدير القياسي وتفسيرها ومناقشتها في ضوء أسئلة البحث والأهداف التي تسعى الدراسة إلى تحقيقها.

المبحث الأول: الإجراءات المنهجية

المطلب الأول: التعريف بمتغيرات الدراسة

انطلاقًا من الإطار النظري والدراسات التجريبية التي تم عرضها في الفصلين السابقين، يتضح أن التحول الطاقوي، خاصة فيما يتعلق بتبني الطاقة المتجددة، لا يتحدد بعامل واحد، بل يتأثر بمجموعة من العوامل الاقتصادية والمؤسسية والتكنولوجية. وتستند هذه الرؤية إلى عدد من المقاربات النظرية، على غرار نظريات النمو الاقتصادي التي تربط بين النشاط الاقتصادي والطلب على الطاقة، ونظرية التحول الطاقوي التي تؤكد دور الابتكار التكنولوجي والسياسات العمومية في الانتقال نحو الطاقات النظيفة، إضافة إلى المقاربات المؤسسية التي تبرز أهمية جودة الحوكمة في توجيه الاستثمار وتعزيز فعالية السياسات الطاقوية.

وبناءً على ذلك ، سعت العديد من الدراسات التطبيقية إلى تفسير تباين مستويات استخدام الطاقة المتجددة بين الدول من خلال تحليل مجموعة من المتغيرات التي تعكس طبيعة البيئة الاقتصادية والمؤسساتية والتكنولوجية .وبناءً على ذلك، تم اختيار متغيرات الدراسة الحالية ليس فقط استنادًا إلى نتائج الأدبيات الاقتصادية، بل أيضًا في ضوء خصوصية الاقتصاد الجزائري، الذي يتميز بالاعتماد الكبير على قطاع المحروقات، وهو ما يجعل مسألة التحول الطاقوي مرتبطة بضرورة تنويع مصادر الطاقة وتحسين كفاءة استخدام الموارد .فالمتغيرات الاقتصادية، مثل الناتج المحلي الإجمالي(GDP) ، تعكس مستوى النشاط الاقتصادي والطلب على الطاقة، في حين يعبر الاستثمار الأجنبي المباشر (FDI) عن دور تدفقات رأس المال في تمويل مشاريع الطاقة ونقل التكنولوجيا. كما يعبّر الانفتاح التجاري (TRD) عن درجة اندماج الاقتصاد في الأسواق العالمية وما يتيحه من فرص لنقل التقنيات النظيفة، بينما يعكس التطور المالي (FD) قدرة النظام المالي على تمويل مشاريع الطاقة المتجددة.

أما المتغيرات المؤسسية، مثل جودة المؤسسات (IQ) والحرية الاقتصادية(EF) ، فتعكس طبيعة البيئة التنظيمية ومدى كفاءة السياسات العمومية في توجيه الاستثمار الطاقوي، وهو ما يكتسي أهمية خاصة في الحالة الجزائرية، حيث تلعب الدولة دورًا محوريًا في إدارة قطاع الطاقة. في المقابل، يمثل الابتكار التكنولوجي الأخضر (GT) عاملًا حاسمًا في دعم التحول الطاقوي كمتغير تكنولوجي، بالنظر إلى دوره في تطوير تقنيات الطاقة المتجددة وتحسين كفاءتها. من جهة أخرى فإن التحول الطاقوي يعبر عنه في أغلب الدراسات بنسبة استهلاك الطاقات المتجددة.

وبالتالي، فإن اختيار هذه المتغيرات يعكس محاولة لبناء نموذج قياسي يأخذ بعين الاعتبار التداخل بين العوامل الاقتصادية والمؤسسية والتكنولوجية، بما يسمح بفهم أعمق لمحددات التحول الطاقوي في الجزائر.وفي هذا السياق، يهدف هذا المبحث إلى تقديم تعريف لمتغيرات الدراسة وتصنيفها، مع إبراز دلالاتها الاقتصادية وتوضيح الأساس النظري الذي يبرر إدراجها ضمن النموذج القياسي المعتمد في التحليل التجريبي.

1. جودة المؤسسات والطاقة المتجددة.

تعد جودة المؤسسات أحد العوامل الأكثر اعترافًا بها في استهلاك الطاقة المتجددة في الاقتصادات النامية والناشئة والغنية بالموارد في الأدبيات التجريبية. تشير العديد من الأدلة المستمدة من الدراسات عبر البلدان والإقليمية إلى وجود صلة إيجابية وهامة بين جودة المؤسسات واستخدام الطاقة المتجددة، خاصة على المدى الطويل (Saadaoui & Chtourou, 2023; Satrianto et al., 2024; Uzar, 2020). تشير هذه الأوراق بشكل عام إلى أن تحسين هياكل الحوكمة يمكن أن يعزز إدخال الطاقة المتجددة ونشرها.

كما تُظهر الأدبيات أن هذا التأثير لا يكون موحدًا في جميع الدول، بل يختلف حسب طبيعة النظام الاقتصادي ومستوى تطور المؤسسات. إذ تشير بعض الدراسات إلى وجود علاقات غير خطية، حيث يزداد تأثير جودة المؤسسات أو يضعف تبعًا لمستواها، كما أن بعض الأبعاد المؤسسية قد تكون أكثر تأثيرًا من غيرها (Almulhim et al., 2025; Haldar & Sethi, 2021) .

في الاقتصادات الغنية بالموارد، خاصة في أفريقيا، يصبح الارتباط بين جودة المؤسسات واستهلاك الطاقة المتجددة أكثر تعقيدًا، حيث يقلل استخدام الطاقة المتجددة عمومًا من تدهور البيئة. ومع ذلك، يمكن أن تؤثر جودة المؤسسات على فعالية سياسة الطاقة المتجددة وأدائها. تعزز المؤسسات الأقوى إدارة عائدات الموارد الطبيعية وإنفاذ القوانين البيئية. ومع ذلك، قد تؤثر أيضًا على حجم الفوائد البيئية للطاقة المتجددة(Q. Li & Zhang, 2025) . تظهر النتيجة دور المؤسسات في الحد من الاعتماد على الموارد مع تسهيل تطوير الطاقة المتجددة.

ومع ذلك، لا يكون هذا التأثير ثابتًا في جميع الدول، إذ يختلف حسب طبيعة النظام الاقتصادي ومستوى تطور المؤسسات. كما تشير بعض الدراسات إلى أن العلاقة قد تكون غير خطية، أي أن تأثير جودة المؤسسات يزداد أو يضعف حسب مستواها. بالإضافة إلى ذلك، تلعب المؤسسات دورًا مهمًا في تعزيز فعالية السياسات الطاقوية، حيث أن وجود مؤسسات قوية يساعد على توجيه الاستثمارات نحو الطاقات المتجددة بدلًا من الاعتماد على الطاقات التقليدية. في حالة الجزائر، التي تعتمد بشكل كبير على قطاع المحروقات، فإن جودة المؤسسات تُعد عاملًا مهمًا في نجاح سياسات التحول الطاقوي، حيث أن تحسين الحوكمة يمكن أن يساهم في جذب الاستثمارات وتطوير مشاريع الطاقة المتجددة.

2. الاستثمار الأجنبي واستهلاك الطاقة المتجددة

لقد قيمت الأدبيات بشكل مكثف الاستثمار الأجنبي المباشر باعتباره محركًا محتملاً لاستهلاك الطاقة المتجددة، على الرغم من أن الأدلة التجريبية لا تزال متباينة وترتبط ارتباطًا وثيقًا بالسياق. وفقًا لعدد متزايد من الدراسات الاقتصادية القياسية، يبدو أن الاستثمار الأجنبي المباشر يمكن أن يسهل تطوير الطاقة المتجددة من خلال تدفقات رأس المال ونقل التكنولوجيا والتأثير على إطار السياسات. من ناحية أخرى، تظهر دراسات أخرى أن الاستثمار الأجنبي المباشر يمكن أن يعزز الأنشطة التي تعتمد بشكل مكثف على الوقود الأحفوري ويعيق التحول الهيكلي نحو الطاقة المتجددة (Fang et al., 2024; Osuma & Bonga-Bonga, 2025).

من منظور قنوات النقل، يعزز الاستثمار الأجنبي المباشر استهلاك الطاقة المتجددة من خلال تدفقات رأس المال إلى مشاريع الطاقة المتجددة، وتحسين شبكات الكهرباء، وتصنيع تكنولوجيا الطاقة النظيفة(Md. Qamruzzaman, 2024) . كما تعزز الشركات متعددة الجنسيات تنمية الطاقة المتجددة من خلال إرسال تقنيات متقدمة وخبرات إدارية وقدرات بحث وتطوير ديناميكية إلى الاقتصادات المضيفة، مما قد يعزز كفاءة الطاقة المتجددة وقدرتها(Doytch & Narayan, 2016). يمكن للمستثمرين الأجانب التأثير بشكل غير مباشر على سياسة الطاقة المتجددة من خلال تشجيع أطر تنظيمية أكثر وضوحًا وحوافز متجددة وأدوات قائمة على السوق، بما في ذلك تعريفات التغذية والإعفاءات الضريبية (Korani, 2025).

غالبًا ما يتم إثبات وجود علاقة إيجابية بين الاستثمار الأجنبي المباشر واستهلاك الطاقة المتجددة من خلال الأدلة التجريبية المستمدة من اللجان العالمية ولجان الأسواق الناشئة. على سبيل المثال، في الدراسات التي تستخدم عينات من الأسواق العالمية والناشئة، وجد أن الاستثمار الأجنبي المباشر (FDI) يعزز استهلاك الطاقة المتجددة على المدى القصير والطويل من خلال تمويل البنى التحتية المتجددة وتعزيز ابتكار الطاقة النظيفة(Shahbaz et al., 2022). في اقتصادات دول البريك وآسيا، وجد أن الاستثمار الأجنبي المباشر يعزز استهلاك الطاقة المتجددة ويساعد الطاقة المتجددة على الحد من انبعاثات الكربون وتعزيز النمو الاقتصادي، خاصة عندما يتجلى التطور المالي وتكوين رأس المال كقنوات تكميلية (Fan & Hao, 2020; Kor & Qamruzzaman, 2023).

ومن جهة أخرى، تشير دراسات أخرى إلى أن الاستثمار الأجنبي قد يكون له تأثير سلبي، خاصة عندما يُوجَّه نحو القطاعات كثيفة الاستهلاك للطاقة أو المعتمدة على الوقود الأحفوري، مما قد يعيق التحول نحو الطاقات المتجددة ويعزز ما يُعرف بفرضية "ملاذ التلوث (Khan et al., 2021).كما تُظهر الأدبيات أن تأثير الاستثمار الأجنبي ليس ثابتًا، بل يعتمد على عدة عوامل، أهمها جودة المؤسسات والإطار التنظيمي. إذ يمكن أن يتحول تأثيره من سلبي إلى إيجابي في ظل وجود سياسات بيئية صارمة ومؤسسات فعالة توجه الاستثمارات نحو القطاعات النظيفة(Tan & Uprasen, 2022). وفي هذا السياق، تشير بعض الدراسات إلى وجود علاقات غير خطية وتأثيرات عتبة، حيث لا يظهر الأثر الإيجابي للاستثمار الأجنبي إلا بعد بلوغ مستويات معينة من التطور الاقتصادي أو المؤسسي (Tsaurai, 2025).

وفي حالة الجزائر، التي تعتمد بشكل كبير على قطاع المحروقات، فإن تأثير الاستثمار الأجنبي على التحول الطاقوي يبقى مرتبطًا بمدى توجيهه نحو مشاريع الطاقة المتجددة، وبفعالية السياسات العمومية في جذب الاستثمارات النظيفة بدلًا من تكريس الاعتماد على الطاقات التقليدية.

3. العلاقة بين الانفتاح التجاري واستهلاك الطاقة المتجددة

يُعد الانفتاح التجاري من العوامل المهمة التي تؤثر على استهلاك الطاقة المتجددة، غير أن الأدبيات الاقتصادية تشير إلى أن هذا التأثير ليس موحدًا، بل يختلف باختلاف مستويات التنمية الاقتصادية وهياكل التجارة وجودة المؤسسات .

فمن جهة، تُظهر العديد من الدراسات أن انفتاح التجارة يمكن أن يعزز استهلاك الطاقة المتجددة، خاصة في الاقتصادات المتقدمة، من خلال تسهيل نقل التكنولوجيا النظيفة، واستيراد المعدات الحديثة، وتعزيز الابتكار في مجال الطاقة (Alam & Murad, 2021; M. Zhang et al., 2021) .

ومن جهة أخرى، قد يكون لهذا الانفتاح تأثير سلبي في بعض الدول النامية، خاصة عندما يرتبط بتوسع الصناعات كثيفة الاستهلاك للطاقة أو المعتمدة على الوقود الأحفوري، مما يؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة غير المتجددة وتأخير التحول الطاقوي (Han et al., 2022; Murshed, 2020) كما تشير الأدبيات إلى أن تأثير انفتاح التجارة يعتمد بشكل كبير على عوامل وسيطة، مثل جودة المؤسسات ورأس المال البشري، حيث تساهم هذه العوامل في توجيه التجارة نحو دعم الطاقة المتجددة بدلًا من تكريس الاعتماد على الطاقات التقليدية. وفي هذا السياق، تؤكد بعض الدراسات وجود علاقات غير خطية، حيث قد يكون تأثير التجارة إيجابيًا في البداية نتيجة نقل التكنولوجيا، لكنه قد يصبح سلبيًا عند تجاوز مستويات معينة، خاصة إذا لم تُرافقه سياسات بيئية فعالة. بالنسبة لحالة الجزائر، فإن تأثير انفتاح التجارة على التحول الطاقوي يظل مرتبطًا بطبيعة الهيكل الاقتصادي وهيمنة قطاع المحروقات، مما قد يحد من دور التجارة في دعم الطاقة المتجددة.

4. الابتكار التكنولوجي الأخضر واستهلاك الطاقة المتجددة

يُعد الابتكار التكنولوجي الأخضر من أهم المحددات الأساسية لاستهلاك الطاقة المتجددة، حيث تعتمد عملية تطوير ونشر تقنيات الطاقة النظيفة بشكل كبير على التقدم التكنولوجي والبحث والتطوير .

تشير معظم الدراسات التجريبية إلى وجود علاقة إيجابية بين الابتكار التكنولوجي واستخدام الطاقة المتجددة، إذ يساهم الابتكار في تحسين كفاءة التقنيات الطاقوية، وخفض تكاليف الإنتاج، وتعزيز القدرة التنافسية للطاقة النظيفة مقارنة بالوقود الأحفوري، مما يدعم الانتقال نحو نظام طاقوي أكثر استدامة (Ahmed et al., 2022; Asghar et al., 2024; Qamruzzaman & Swarna, 2025)

كما تُظهر الأدبيات أن تأثير الابتكار لا يكون موحدًا، بل يعتمد على مجموعة من العوامل، مثل جودة المؤسسات، والتطور المالي، ورأس المال البشري، حيث تعزز هذه العوامل قدرة الاقتصادات على استيعاب التكنولوجيا وتحويلها إلى استخدام فعلي للطاقة المتجددة. وفي هذا السياق، تشير بعض الدراسات إلى وجود علاقات غير خطية وتأثيرات عتبة، حيث يكون تأثير الابتكار قويًا في المراحل الأولى من التحول الطاقوي، لكنه قد يتغير أو يضعف عند مستويات متقدمة نتيجة تشبع التكنولوجيا أو ضعف القدرة الاستيعابية .كما يساهم الابتكار التكنولوجي في تطوير حلول متقدمة، مثل تقنيات التخزين والشبكات الذكية، مما يساعد على معالجة مشكلات التقطع في الطاقة المتجددة وتعزيز استقرار الأنظمة الطاقوية .وفي السياق الجزائري، يمثل الابتكار التكنولوجي عنصرًا حاسمًا في دعم التحول الطاقوي، حيث يمكن أن يساهم تطوير البحث العلمي ونقل التكنولوجيا في تحسين كفاءة استغلال الطاقات المتجددة وتقليل الاعتماد على المحروقات.

5. التطوير المالي واستهلاك الطاقة المتجددة

تُعد التنمية المالية من العوامل الأساسية التي تؤثر على استهلاك الطاقة المتجددة، نظرًا للطبيعة الرأسمالية المكثفة لمشاريع الطاقة النظيفة، والتي تتطلب تمويلًا طويل الأجل واستثمارات كبيرة. وتشير الأدبيات إلى أن تطور القطاع المالي يساهم في تقليل تكاليف التمويل، وتسهيل الوصول إلى الائتمان، وتعزيز تقاسم المخاطر، مما يدعم الاستثمار في البنية التحتية للطاقة (Dimnwobi et al., 2022; Eren et al., 2019; Mukhtarov et al., 2022)

وتُظهر العديد من الدراسات وجود علاقة إيجابية بين التنمية المالية واستهلاك الطاقة المتجددة، حيث يؤدي تطور الأسواق المالية والقطاع المصرفي إلى زيادة تمويل المشاريع الطاقوية النظيفة، خاصة في الاقتصادات الناشئة (Alsagr & Van Hemmen, 2021; Shahbaz et al., 2022; M. Yu et al., 2023)ومع ذلك، تشير الأدبيات إلى أن هذا التأثير ليس موحدًا، بل يعتمد على طبيعة النظام المالي وهيكله، حيث يكون تأثير التمويل المصرفي أكثر أهمية مقارنة بأسواق رأس المال في العديد من الدول النامية، في حين قد يكون تأثير التنمية المالية محدودًا أو حتى سلبيًا في حال توجيه التمويل نحو القطاعات كثيفة الكربون أو في ظل ضعف السياسات الداعمة للطاقة المتجددة (Abubakar et al., 2026; Habiba & Xinbang, 2023)

كما تُبرز الدراسات وجود علاقات غير خطية وتأثيرات عتبة، حيث لا يسهم التطور المالي في دعم الطاقة المتجددة إلا بعد بلوغ مستوى معين من النضج المالي، بينما قد يكون تأثيره ضعيفًا أو عكسيًا في المراحل الأولى (Majeed & Hussain, 2025; Raza et al., 2020). إضافة إلى ذلك، تلعب العوامل المؤسسية والتكنولوجية دورًا تكميليًا في تعزيز هذه العلاقة، حيث يساهم تحسن جودة المؤسسات والرقمنة في توجيه التمويل نحو مشاريع الطاقة النظيفة وتحسين كفاءة الاستثمار فيها (Manta et al., 2025; R. J. Zhang & Razzaq, 2022)

وفي هذا الإطار، يتضح أن دور التنمية المالية في دعم التحول الطاقوي لا يقتصر على توفير التمويل فقط، بل يرتبط بمدى كفاءة توجيه الموارد المالية وملاءمة البيئة المؤسسية، مما يجعل تأثيرها متغيرًا حسب السياق الاقتصادي والهيكلي.

6. النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة المتجددة.

تُعد العلاقة بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة المتجددة من العلاقات المعقدة في أدبيات اقتصاديات الطاقة، حيث تشير الدراسات إلى أنها ليست علاقة خطية بسيطة، بل تتسم بعدم التجانس وتختلف باختلاف مستويات التنمية والظروف المؤسسية .

وتُظهر معظم الدراسات أن استهلاك الطاقة المتجددة يدعم النمو الاقتصادي، خاصة في المدى الطويل، من خلال تعزيز كفاءة استخدام الطاقة، وخلق فرص عمل، وتقليل الاعتماد على الواردات الطاقوية، لا سيما في الاقتصادات النامية (Bhattacharya et al., 2016; Jia et al., 2023; Saidi & Omri, 2020).

ومع ذلك، تشير الأدبيات إلى أن هذه العلاقة ليست موحدة، حيث قد يكون تأثير الطاقة المتجددة على النمو ضعيفًا أو غير معنوي في بعض الحالات، خاصة في المراحل الأولى من التحول الطاقوي، نتيجة ارتفاع التكاليف وضعف الكفاءة التكنولوجية . كما تُبرز الدراسات وجود علاقات غير خطية وتأثيرات عتبة، حيث يظهر الأثر الإيجابي للطاقة المتجددة على النمو الاقتصادي فقط بعد بلوغ مستوى معين من الانتشار والاستثمار في هذا القطاع، مما يعكس أهمية الحجم والتنسيق السياساتي في تحقيق مكاسب اقتصادية من التحول الطاقوي(C. Chen et al., 2020; Wang et al., 2022). إضافة إلى ذلك، تلعب العوامل المؤسسية ومستوى المخاطر الاقتصادية دورًا مهمًا في تحديد طبيعة هذه العلاقة، حيث تعزز البيئة المستقرة من قدرة الطاقة المتجددة على دعم النمو الاقتصادي .وبذلك، يتضح أن العلاقة بين النمو الاقتصادي والطاقة المتجددة تتسم بالتعقيد وعدم الخطية، مما يجعل تحليلها يتطلب مراعاة الاختلافات عبر مستويات التنمية والظروف الاقتصادية.

7. الحرية الاقتصادية واستهلاك الطاقة المتجددة.

تُعد الحرية الاقتصادية من العوامل التي تحظى باهتمام متزايد في تفسير استهلاك الطاقة المتجددة، حيث تعكس مدى اعتماد الأنشطة الاقتصادية على آليات السوق مع محدودية تدخل الدولة. وفي هذا السياق، ترتبط المستويات المرتفعة من الحرية الاقتصادية عادةً بتحسين مناخ الاستثمار، وزيادة كفاءة الأطر التنظيمية، وتعزيز الانفتاح التجاري، مما يسهم في تسهيل تطوير مشاريع الطاقة المتجددة(Amoah et al., 2020; Bétila, 2023)

من الناحية النظرية، يمكن للحرية الاقتصادية أن تعزز استهلاك الطاقة المتجددة من خلال عدة قنوات. أولًا، تساهم حرية الأعمال والتجارة في تشجيع الاستثمار الخاص ونقل التكنولوجيا النظيفة. ثانيًا، تساعد المؤسسات القائمة على آليات السوق في تقليل تكاليف المعاملات وتحسين تخصيص الموارد، مما يدعم جهود التحول الطاقوي. وتشير الأدلة التجريبية إلى أن المؤسسات ذات التوجه السوقي تعزز استخدام الطاقة المتجددة وتقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري في العديد من الدول (Abban et al., 2025).

ومع ذلك، فإن العلاقة بين الحرية الاقتصادية والطاقة المتجددة ليست موحدة. إذ قد يكون لبعض مكونات الحرية الاقتصادية تأثيرات متباينة أو حتى سلبية. فعلى سبيل المثال، قد لا تساهم بعض الأبعاد مثل العبء الضريبي أو أنظمة حقوق الملكية في دعم تطوير الطاقة المتجددة، وذلك حسب تأثيرها على الحوافز الاستثمارية وتوجهات السياسات (Alola et al., 2023).

كما تشير النتائج التجريبية إلى أن تأثير الحرية الاقتصادية يعتمد بشكل كبير على السياق، حيث يختلف حسب المناطق ومستويات التنمية الاقتصادية. ففي بعض الدول النامية، قد تحد القيود الهيكلية وضعف المؤسسات من الآثار الإيجابية للحرية الاقتصادية، بل قد تؤدي في بعض الحالات إلى نتائج عكسية(Abban et al., 2025). بشكل عام، تُظهر الأدبيات أن الحرية الاقتصادية يمكن أن تلعب دورًا داعمًا في التحول الطاقوي، غير أن فعاليتها تبقى مرتبطة بطبيعة مكوناتها وبالبيئة الاقتصادية والمؤسسية المحيطة.

المطلب الثاني: النموذج التجريبي

1. الصياغة التجريبية الأساسية

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل محددات الانتقال الطاقوي في الجزائر من خلال نمذجة استهلاك الطاقة المتجددة (REC) بوصفه متغيرًا تابعًا، بدلالة مجموعة من المحددات التي تشمل التكنولوجيا الخضراء(GT) ، الاستثمار الأجنبي المباشر(FDI) ، التطور المالي(FD) ، الانفتاح التجاري(TRD) ، وجودة المؤسسات(IQ) ، إلى جانب متغيرين ضابطين هما النمو الاقتصادي (GDP)والحرية الاقتصادية .(EF) وتعتمد البيانات على مصادر دولية رسمية، من بينها البنك الدولي، وصندوق النقد الدولي، ومنظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، ومؤسسةHeritage ، بما يضمن اتساقها وقابليتها للمقارنة.

ونظرًا لطبيعة البيانات الأصلية التي تتوفر بشكل سنوي، تم تحويلها إلى بيانات ربع سنوية باستخدام منهجية Quadratic Match Sum and Average، وذلك للفترة الممتدة من 1990 إلى 2023 في الجزائر. ويهدف هذا التحويل إلى تحسين دقة التحليل الزمني وتمكين النماذج القياسية المعتمدة من التقاط الديناميكيات قصيرة ومتوسطة الأجل بشكل أكثر فعالية، خاصة في ظل اعتماد الدراسة على نماذج غير خطية وحساسة للتغيرات الزمنية.

الجدول رقم05: مصادر البيانات وتعريف متغيرات الدراسة

المتغير	الرمز	التعريف	وحدة القياس	مصدر البيانات
استهلاك الطاقة المتجددة	**REC**	نسبة استهلاك الطاقة المتجددة من إجمالي استهلاك الطاقة	%	World Bank
الابتكار التكنولوجي الأخضر	**GT**	عدد براءات الاختراع الخضراء أو مؤشر الابتكار	عدد / مؤشر	OECD
الاستثمار الأجنبي المباشر	**FDI**	صافي تدفقات الاستثمار الأجنبي المباشر	%من GDP	World Bank
التطور المالي	**FD**	مؤشر التطور المالي	مؤشر	International Monetary Fund
الانفتاح التجاري	**TRD**	مجموع الصادرات والواردات كنسبة من GDP	%	World Bank
جودة المؤسسات	**IQ**	مؤشر الحوكمة(WGI)	مؤشر	World Bank
الحرية الاقتصادية	**EF**	مؤشر الحرية الاقتصادية	مؤشر	Heritage Foundation
النمو الاقتصادي	**GDP**	الناتج المحلي الإجمالي الحقيقي	%نمو	World Bank

ونظرًا لكون العلاقة بين استهلاك الطاقة المتجددة ومحدداته تتسم بعدم الخطية وعدم التجانس، فقد تم اعتماد نموذج الانحدار الكمي على الكمي (M-QQR) كإطار تحليلي رئيسي. فعلى خلاف النماذج الخطية التقليدية التي تفترض ثبات العلاقة بين المتغيرات،

يتيح هذا النموذج تحليل تأثير المتغيرات عبر مختلف مستويات توزيع المتغير التابع، كما يسمح بدراسة تفاعل توزيعات المتغيرات المستقلة مع هذه المستويات. كما أن نموذج الانحدار الكمي التقليدي(QR) ، رغم أهميته، يظل محدودًا لعدم أخذه بعين الاعتبار هذا التفاعل التوزيعي، في حين يوفر نموذج (M-QQR) إمكانية تحليل أكثر عمقًا، من خلال تقدير تأثير كل متغير مستقل عند مستويات مختلفة من توزيعه، وعلى مختلف مستويات استهلاك الطاقة المتجددة. وهو ما يسمح بفهم أدق لديناميكيات التحول الطاقوي في الجزائر، خاصة في حالات الأداء المنخفض والمتوسط والمرتفع. وبالتالي، يعكس اختيار هذا النموذج الحاجة إلى تبني مقاربة قياسية متقدمة قادرة على التقاط عدم التجانس والتغير في العلاقات الاقتصادية، بما يتماشى مع خصوصية الاقتصاد الجزائري وطبيعة التحول الطاقوي فيه.

تُعطى الصياغة الوظيفية الأساسية كما يلي:

$$REC_t = f(GT_t, FDI_t, FDindex_t, TRD_t, IQ_t, GDP_t, EFR_t) \qquad (1)$$

وتُكتب في صورتها الخطية على النحو الآتي:

$$REC_t = \alpha_0 + \alpha_1 GT_t + \alpha_2 FDI_t + \alpha_3 FDindex_t + \alpha_4 TRD_t + \alpha_5 IQ_t + \alpha_6 GDP_t + \alpha_7 EFI$$

حيث تمثل α_0 الحد الثابت، و $\alpha_1 - \alpha_7$ معاملات الانحدار، بينما يشير ε_t إلى حد الخطأ العشوائي.

ورغم أن المعادلة (2) توفر مؤشرات أولية حول العلاقات بين المتغيرات، إلا أنها تفترض الخطية وتجانس المعاملات، وهي افتراضات مقيّدة في سياق الانتقال الطاقوي، حيث يُحتمل وجود علاقات غير خطية وغير متماثلة ومتباينة عبر مختلف مستويات تطور الطاقة المتجددة. لذلك، تعتمد هذه الدراسة إطارًا اقتصادقياسيًا قائمًا على التوزيعات الكمية.

2. الانحدار الكمي على الكمي الثنائي

استنادًا إلى منهجية الانحدار الكمي على الكمي التي طورها(Sim & Zhou, 2015) ، لنفترض أن y_t يمثل المتغير التابع و x_t المتغير المستقل. يُعرَّف الكمي λ المشروط لـ y_t على النحو التالي:

$$Q_{y_t}(\lambda \mid x_t) = \phi_\lambda(x_t) \qquad (3)$$

ولتحليل اعتماد الكمي λ من y_t على الكمي τ من x_t، يتم تقريب الدالة غير المعروفة $\phi_\lambda(\cdot)$ باستخدام توسع تايلور من الدرجة الأولى حول x_τ:

$$\phi_\lambda(x_t) \approx \phi_\lambda(x_\tau) + \phi'_\lambda(x_\tau)(x_t - x_\tau) \qquad (4)$$

وبالتعويض في المعادلة (3) نحصل على:

$$y_t = \beta_0(\lambda,\tau) + \beta_1(\lambda,\tau)(x_t - x_\tau) + u_{\lambda t} \qquad (5)$$

حيث يقيس $\beta_1(\lambda,\tau)$ درجة الاعتماد بين كميات المتغيرين، ويمثل $u_{\lambda t}$ حد خطأ له كمي صفري عند λ.

ورغم قدرة هذا الإطار على التقاط اللاخطية واعتماد الذيل، إلا أن طبيعته الثنائية تجعله عرضة لتحيز حذف المتغيرات عند وجود عدة محددات تؤثر في المتغير التابع في آن واحد.

3. الانحدار الكمي على الكمي المتعدد(M-QQR)

لمعالجة هذا القيد، تعتمد الدراسة إطار الانحدار الكمي المتعدد على الكمي(M-QQR) ، استنادًا إلى التوسعات المنهجية المقترحة في أعمال(Ramzan et al., 2025; Y. Yu et al., 2024). يتيح هذا الإطار إدراج عدة متغيرات تفسيرية بصورة متزامنة، مما يسمح بتقييم شامل للاعتماد بين الكميات.

لنفترض أن استهلاك الطاقة المتجددة REC_t يتبع توزيعًا كميًا يعتمد كميه λ على متجه المتغيرات التفسيرية:

$$X_t = (GT_t, FDI_t, FDindex_t, TRD_t, IQ_t)$$

مع إدراج الناتج المحلي الإجمالي والحرية الاقتصادية كمتغيرات ضابطة.

يُصاغ نموذج M-QQR كما يلي:

$$REC_t = v_0(\lambda,\tau_1,\dots,\tau_5) + \sum_{i=1}^{5} v_i(\lambda,\tau_i)(X_{it} - X_{i\tau}) + \omega_1(\lambda)GDP_t + \omega_2(\lambda)EFR_t + u_{\lambda t}$$

أو بصورة موسعة:

$$\begin{aligned} REC_t = {} & v_0(\lambda,\tau_1,\dots,\tau_5) + v_1(\lambda,\tau_1)(GT_t - GT_\tau) \\ & + v_2(\lambda,\tau_2)(FDI_t - FDI_\tau) + v_3(\lambda,\tau_3)(FDindex_t - FDindex_\tau) \\ & + v_4(\lambda,\tau_4)(TRD_t - TRD_\tau) + v_5(\lambda,\tau_5)(IQ_t - IQ_\tau) \\ & + \omega_1(\lambda)GDP_t + \omega_2(\lambda)EFR_t + u_{\lambda t} \end{aligned} \qquad (7)$$

حيث:

- تمثل λ كميات استهلاك الطاقة المتجددة،
- تشير τ_i إلى كميات كل متغير تفسيري،
- تقيس $v_i(\lambda,\tau_i)$ الاعتماد بين ذيول التوزيعات،
- ويمثل $u_{\lambda t}$ حد اضطراب له كمي صفري.

تسمح هذه الصياغة لكل محدد بأن يؤثر بشكل غير متماثل وعلى مختلف مستويات توزيع استهلاك الطاقة المتجددة.

4. إجراء التقدير

تُقدَّر معاملات النموذج باستخدام الانحدار الكمي المحلي مع ترجيح نواة غاوسية وفق مسألة التحسين التالية:

$$\min_{\Theta} \sum_{t} \rho_{\lambda} \left(REC_t - \widehat{REC_t}\right) K\left(\frac{F(X_{it}) - \tau_i}{h}\right) \qquad (8)$$

حيث تمثل $\rho_{\lambda}(\cdot)$ دالة الخسارة الكمية، و $K(\cdot)$ النواة الغاوسية، و $F(X_{it})$ التوزيع التجريبي لكل متغير، بينما يُحدد عرض الحزمة عند $h = 0.05$ للحد من تحيز التقدير.

5. الانحدار الكمي الموجي (Wavelet Quantile Regression – WQR)

- **الإطار العام للتحليل الموجي**

رغم أن منهجية الانحدار الكمي المتعدد على الكمي (M-QQR) تسمح بالتقاط اللاخطية وعدم التماثل والاعتماد بين ذيول التوزيعات، إلا أنها لا تأخذ صراحةً في الحسبان البعد الزمني—الترددي للعلاقات الاقتصادية. إذ إن ديناميكيات الانتقال الطاقوي قد تختلف باختلاف الآفاق الزمنية (قصيرة، متوسطة، طويلة الأجل)، وهو ما قد يؤدي إلى إخفاء تأثيرات مهمة عند الاكتفاء بتحليل المجال الزمني فقط.

ولمعالجة هذا القيد، تعتمد هذه الدراسة على الانحدار الكمي الموجي(WQR) ، الذي يدمج بين التحليل الموجي والانحدار الكمي، بما يسمح بدراسة تأثير محددات استهلاك الطاقة المتجددة عبر مختلف المقاييس الزمنية ومستويات التوزيع الكمي في آن واحد.

- **التفكيك الموجي للسلاسل الزمنية**

لتكن Y_t أي سلسلة زمنية. وفق التحويل الموجي المتقطع(DWT) ، يمكن تمثيلها كما يلي:

$$Y_t = \sum_{j=1}^{J} D_{j,t} + S_{J,t} \qquad (1)$$

حيث:

- $D_{j,t}$ تمثل مركبات التفاصيل عند المستوى j (تقلبات قصيرة، متوسطة، طويلة الأجل)،
- $S_{J,t}$ تمثل المركبة الملساء (الاتجاه طويل الأجل)،

- Jهو أقصى مستوى للتفكيك.

وبتطبيق ذلك على استهلاك الطاقة المتجددة نحصل على:

$$REC_t = \sum_{j=1}^{J} D_{REC,j,t} + S_{REC,J,t} \qquad (2)$$

وبالمثل، يتم تفكيك كل متغير تفسيري:

$$X_{it} = \sum_{j=1}^{J} D_{X_i,j,t} + S_{X_i,J,t} \qquad (3)$$

حيث:

$$X_i \in \{GT, FDI, FDindex, TRD, IQ, GDP, EFR\}$$

ويمثل كل مستوى j:

- المستوى الأول: ديناميكيات قصيرة الأجل،
- المستوى الثاني: ديناميكيات متوسطة الأجل،
- المستويات الأعلى: ديناميكيات طويلة الأجل.

- **الانحدار الكمي عند كل مقياس زمني**

بعد تفكيك السلاسل الزمنية، يتم تطبيق الانحدار الكمي بشكل منفصل على كل مستوى موجي.

ولتكن $REC_{j,t}$مركبة استهلاك الطاقة المتجددة عند المستوى j .يُعرَّف الكمي λالمشروط لها كما يلي:

$$Q_{REC_{j,t}}(\lambda \mid X_{j,t}) = \beta_{0j}(\lambda) + \sum_{i=1}^{5} \beta_{ij}(\lambda) X_{i,j,t} + \gamma_{1j}(\lambda) GDP_{j,t} + \gamma_{2j}(\lambda) EFR_{j,t} \qquad (4)$$

حيث:

- $\lambda \in (0,1)$تمثل مستويات الكميات،
- $X_{i,j,t}$تمثل المركبات الموجية لكل محدد عند المستوى j،
- $\beta_{ij}(\lambda)$تقيس التأثيرات التوزيعية الخاصة بكل مقياس زمني.

6. النموذج التجريبي لـ WQR في حالة الجزائر

بالتوسيع، يصبح نموذج الانحدار الكمي الموجي كما يلي:

$$\begin{aligned} Q_{REC_{j,t}}(\lambda) = \quad & \beta_{0j}(\lambda) + \beta_{1j}(\lambda)GT_{j,t} + \beta_{2j}(\lambda)FDI_{j,t} \\ & +\beta_{3j}(\lambda)FDindex_{j,t} + \beta_{4j}(\lambda)TRD_{j,t} \\ & +\beta_{5j}(\lambda)IQ_{j,t} + \gamma_{1j}(\lambda)GDP_{j,t} \\ & +\gamma_{2j}(\lambda)EFR_{j,t} \end{aligned} \qquad (5)$$

ويتم تقدير هذا النموذج عند عدة مستويات كمية (مثل 0.05 إلى 0.95) وعبر مختلف المقاييس الزمنية j.

إجراء التقدير

تُقدَّر معاملات النموذج من خلال حل مسألة الانحدار الكمي القياسية:

$$\min_{\Theta} \sum_{t} \rho_{\lambda} \left(REC_{j,t} - \widehat{REC}_{j,t} \right) \qquad (6)$$

حيث تُعرَّف دالة الخسارة الكمية كما يلي:

$$\rho_{\lambda}(u) = u(\lambda - I(u < 0)) \qquad (7)$$

7. الدلالة التطبيقية على الانتقال الطاقوي في الجزائر

يسمح إطار WQR بما يلي:

- التمييز بين المحددات قصيرة وطويلة الأجل لاستهلاك الطاقة المتجددة،
- التقاط التأثيرات غير المتماثلة عبر مستويات توزيعREC ،
- تحليل اختلاف أثر التطور المالي أو جودة المؤسسات بين فترات انخفاض وارتفاع الطاقة المتجددة،
- تقييم قوة التأثيرات المؤسسية والاقتصادية عبر مختلف الآفاق الزمنية.

ومن خلال الجمع بين البعد الزمني–الترددي وعدم التجانس الكمي، يوفر الانحدار الكمي الموجي توصيفًا معمقًا لديناميكيات الانتقال الطاقوي في الجزائر يتجاوز ما تقدمه النماذج التقليدية المعتمدة على المتوسط أو المجال الزمني فقط.

المطلب الثالث: نمودج اختبار السببية

منهجية السببية باستخدام التحويل الموجي المستمر(CWT Causality)

من أجل التحقق من متانة النتائج وتعزيز التحليل الديناميكي للعلاقات بين المتغيرات، تعتمد هذه الدراسة على منهجية السببية القائمة على التحويل المويجي المستمر .(ContinuousWaveletTransform – CWT) تسمح هذه المنهجية بتحليل السببية عبر البعدين الزمني والترددي في آن واحد، مما يتيح الكشف عن علاقات سببية متغيرة عبر الزمن ومختلف الآفاق الزمنية.

تستند هذه المقاربة إلى تحليل الارتباط المويجي الذي قدمه(2013) Rua ، وتم تطوير اختبار السببية باستخدام CWT من قبل(2016) Olayeni، والذي يسمح بقياس السببية في المجال الزمني–الترددي.

- **التحويل المويجي المستمر**

لتكن X_t و Y_t سلسلتين زمنيتين. يُعرّف التحويل المويجي المستمر لـ X_t كما يلي:

$$W_X(s,\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(t)\ \psi^*_{s,\tau}(t)\ dt \qquad (1)$$

حيث:

- s يمثل مقياس التردد(scale) ،
- τ يمثل الموقع الزمني،
- ψ^* الدالة المويجية الأم(Mother Wavelet) ،
- *تشير إلى المرافق العقدي.
- **الارتباط المويجي**

يُعرّف الارتباط المويجي بين X_t و Y_t كما يلي:

$$R_{XY}(s,\tau) = \frac{W_{XY}(s,\tau)}{\sqrt{|\ W_X(s,\tau)\ |^2 \quad |\ W_Y(s,\tau)\ |^2}} \qquad (2)$$

حيث يمثل $W_{XY}(s,\tau)$ التحويل المويجي المشترك.(Cross-WaveletTransform)

- **اختبار السببية باستخدام CWT**

وفقًا لـ(2016) Olayeni، يتم تعريف مقياس السببية المويجية كما يلي:

$$G_{Y\to X}(s,\tau) = \frac{\vartheta\{s^{-1}\ |\ R_{XY}(s,\tau)\ I_{Y\to X}(s,\tau)\ |\}}{\vartheta\{s^{-1}\sqrt{|\ W_X(s,\tau)\ |^2}\}\cdot\vartheta\{s^{-1}\sqrt{|\ W_Y(s,\tau)\ |^2}\}} \qquad (3)$$

حيث:

- $G_{Y\to X}(s,\tau)$ يقيس قوة السببية من Y إلى X عند المقياس s والزمن τ،
- $\vartheta\{\cdot\}$ تمثل عامل التنعيم(SmoothingOperator) ،
- $I_{Y\to X}(s,\tau)$ دالة المؤشر.

وتُعرّف دالة المؤشر كما يلي:

$$I_{Y\to X}(s,\tau)=\begin{cases}1 & \text{إذا كانت } \phi_{XY}(s,\tau)\in(0,\frac{\pi}{2})\cup(-\pi,-\frac{\pi}{2})\\ 0 & \text{غير ذلك}\end{cases} \qquad (4)$$

حيث تمثل $\phi_{XY}(s,\tau)$ زاوية الطور (Phase Difference) بين السلسلتين.

يشير شرط زاوية الطور إلى أن Y يقود X إذا كانت الإشارة الموجية لـ Y تسبق X ضمن نطاقات محددة من الطور.

- **الأهمية المنهجية**

تتميز منهجيةCWT Causality بالخصائص التالية:

- التقاط السببية المتغيرة عبر الزمن
- تحليل السببية عبر الترددات المختلفة
- التحكم في الصدمات الداخلية والخارجية
- الكشف عن علاقات سببية غير مستقرة أو مؤقتة

وبذلك، تكمل هذه المنهجية نتائج M-QQR و WQR من خلال توفير تحليل سببي ديناميكي في المجال الزمني–الترددي، مما يمنح تصورًا شاملاً لمسار الانتقال الطاقوي في الجزائر.

المبحث الثاني: عرض النتائج الإحصائية

المطلب الأول: الإحصاء الوصفي والتحليل الأولي

1. الإحصاء الوصفي للمتغيرات

قبل الخوض في تحليلات M-QQR وWQR، نقوم أولاً باختبار الخصائص الإحصائية (الجدول 6 والشكل11) للسلسلة من خلال نتائج الإحصاءات الوصفية لعدة متغيرات مثل استهلاك الطاقة المتجددةREC، والابتكار الأخضرGT، ومؤشر التطوير الماليFdindex، وجودة المؤسسات IQ، والناتج المحلي الإجمالي GDP، والحرية الاقتصادية EFR، والاستثمار الأجنبي المباشرFDI ، وانفتاح التجارة TRD. تشير النتائج إلى تباينات واسعة في الاتجاه المركزي والتشتت وخصائص التوزيع عبر المتغيرات.

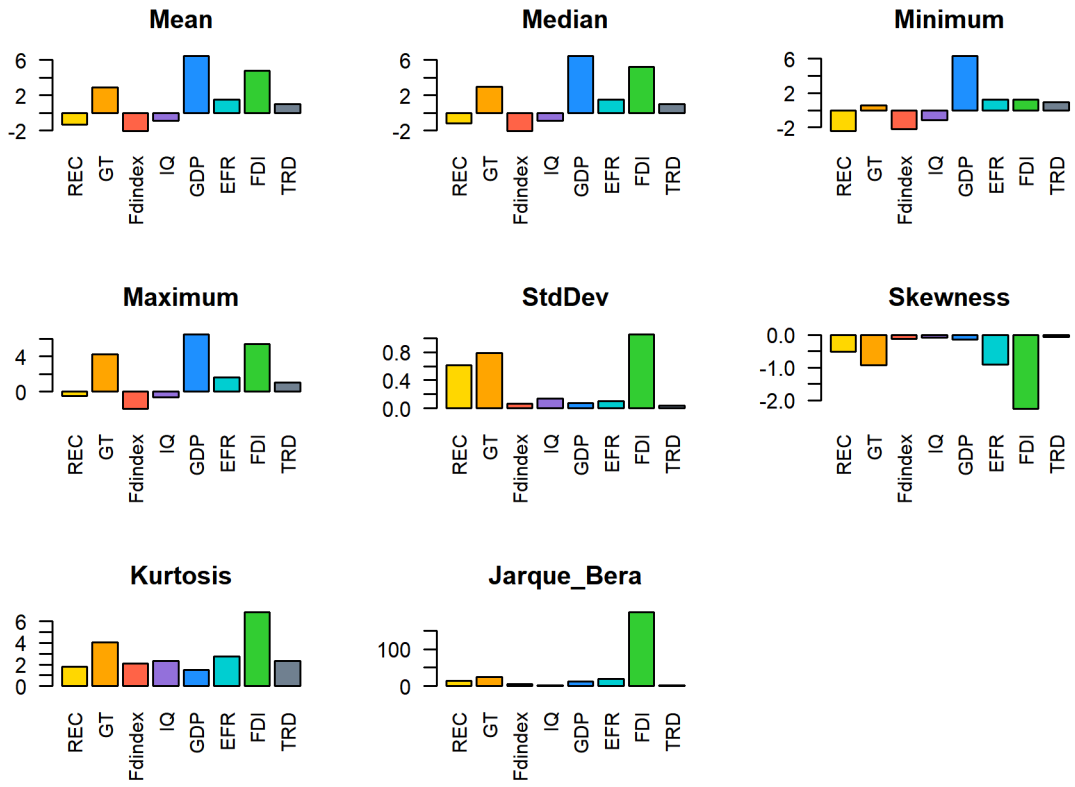
الجدول رقم 06: الإحصاء الوصفي لمتغيرات الدراسة

المتغير	المتوسط (Mean)	الوسيط (Median)	أدنى قيمة (Min)	أعلى قيمة (Max)	الانحراف المعياري (StdDev)	الالتواء (Skewness)	التفرطح (Kurtosis)	اختبار جارك-بيرا (JB)
REC	1.36-	1.20-	2.41-	0.49-	0.62	0.51-	1.82	13.93
GT	2.87	2.95	0.55	4.23	0.79	0.93-	4.04	25.58
Fdindex	2.05-	2.04-	2.21-	1.95-	0.07	0.12-	2.07	5.24
IQ	0.92-	0.89-	1.17-	0.60-	0.14	0.07-	2.35	2.55
GDP	6.41	6.43	6.30	6.53	0.08	0.15-	1.53	12.75
EFR	1.50	1.53	1.27	1.66	0.10	0.91-	2.73	19.36
FDI	4.78	5.21	1.24	5.44	1.06	2.26-	6.84	199.79
TRD	1.00	1.00	0.92	1.07	0.04	0.07-	2.32	2.75

يبلغ متوسط ووسيط قيم الابتكار الأخضر 2.87 (GT) و 2.95 على التوالي، بينما يتراوح بين 0.55 و 4.23. يبلغ الانحراف المعياري 0.79، مما يشير إلى تباين معتدل بين أنشطة الابتكار الأخضر (GT) للمستجيبين. يبلغ متوسط التنمية المالية (Fdindex) −2.05مع نطاق ضيق يتراوح بين −2.21 و−2.95 وانحراف معياري منخفض جدًا يبلغ 0.07، مما يشير إلى أن التنمية المالية مستقرة جدًا خلال هذه الفترة. ومثل الأبعاد الأخرى، يُظهر معدل الذكاء تبايناً محدوداً نسبياً، بمتوسط -0.92، ووسيط -0.89، وانحراف معياري 0.14.

سجل الناتج المحلي الإجمالي أعلى متوسط بين جميع المتغيرات بمتوسط 6.41 ووسيط 6.43. تقع قيم النمو الاقتصادي ضمن نطاق ضيق (6.30 إلى 6.53) ويعكس الانحراف المعياري المنخفض (0.08) ضمان نمو اقتصادي مستقر عبر الاقتصادات التي تمت ملاحظتها. قيس الحرية الاقتصادية بمتوسط قيمة 1.50 وقيمة متوسطة 1.53 مع انحراف معياري 0.10. كما أن معامل انفتاح التجارة (TRD) هو مقياس مستقر للغاية، كما يتضح من المتوسط والوسيط المرتفعين البالغين 1.00 والتشتت المنخفض للغاية (الانحراف المعياري 0.04).

الشكل رقم11: أعمدة الإحصاء الوصفي لمتغيرات الدراسة



يبلغ متوسط ووسيط استهلاك الطاقة المتجددة (REC) -1.36 و-1.20 على التوالي. تتراوح قيم REC من -2.41 إلى -0.49. علاوة على ذلك، يبلغ الانحراف المعياري 0.62. من ناحية أخرى، فإن الاستثمار الأجنبي المباشر (FDI) متقلب للغاية بمتوسط 4.78 ووسيط 5.21. يتراوح الاستثمار الأجنبي المباشر بين 1.24 و5.44 وله أعلى انحراف معياري.(1.06)

فيما يتعلق بخصائص التوزيع، تظهر معظم المتغيرات انحرافًا سلبيًا طفيفًا (−0.93) GT. و (−0.91) EFR هما مثالان على الانحراف السلبي الملحوظ. بالإضافة إلى ذلك، الناتج المحلي الإجمالي (−0.15). يتسم الاستثمار الأجنبي المباشر بالتواء سلبي ملحوظ بقيمة بلغت (-2.26)، مما يشير إلى وجود قيم متطرفة نحو اليسار (القيم الدنيا). وفي حين يقترب توزيع معظم المتغيرات من التوزيع الطبيعي بمعامل تفرطح يقارب (3)، نجد أن كلاً من النمو الأخضر (GT) والاستثمار الأجنبي المباشر (FDI) يظهران سلوكاً مدبباً(Leptokurtic) ، وهو ما تؤكده قيم التفرطح البالغة (4.04) و(6.84) على التوالي

تؤكد إحصائيات اختبار Jarque–Beraأن هناك انحرافًا عن الطبيعي في معظم السلاسل FDI. لديه(199.79) ، GT (25.58)وFdindex. (19.36) EFR و IQ و TRD لديهم قيم أقل أقرب إلى الطبيعية. بشكل عام، بعض المتغيرات مستقرة (مثل الجنس أو مكان المنشأ، إلخ) ولكن المتغيرات الأخرى ليست موزعة بشكل طبيعي وتظهر تعدد الترابط والتقلب بشكل كبير.في الختام، تظهر الأدلة الوصفية تباينًا كبيرًا في المؤشرات البيئية والمؤسسية والاقتصادية الكلية، حيث تظهر الابتكارات الخضراء

والاستثمار الأجنبي المباشر تباينات كبيرة وعدم طبيعية. تؤكد النتائج الأولية صحة استخدام تقنيات الاقتصاد القياسي غير الخطية والحساسة للتوزيع، مثل المنهجيات القائمة على الكميات، لتقدير الآثار غير المتجانسة للابتكارات الخضراء.

2. مصفوفة الارتباط

مصفوفة الارتباط كما هو موضح في الشكل12 هي خريطة حراريةللعلاقة بين الابتكار الأخضر (GT) والتطور المالي (Fdindex)وجودة المؤسسات (IQ) والناتج المحلي الإجمالي (GDP) والحرية الاقتصادية (EFR) والاستثمار الأجنبي المباشر (FDI) وانفتاح التجارة .(TRD) تظهر النتائج ترابطًا كبيرًا بين متغيرات الابتكار على المستوى الاقتصادي الكلي والمؤسسي والبيئي. يظهر **النمو الأخضر** (**GT**) ارتباطات سلبية مستمرة مع كافة المتغيرات التفسيرية المدرجة؛ إذ شمل ذلك الجودة المؤسسية (-0.484)، والحرية الاقتصادية (-0.420)، والناتج المحلي الإجمالي (-0.334)، بالإضافة إلى الاستثمار الأجنبي المباشر (-0.287)، والانفتاح التجاري (-0.225)، والتنمية المالية.(-0.101)

وتُعطي هذه الارتباطات العكسية مؤشراً وصفياً على أن تصاعد وتيرة النمو الاقتصادي، وتحسن الأداء المؤسسي، وزيادة الانفتاح العالمي، **لا تتوافق طردياً** مع تعزيز نشاط الابتكار الأخضر ضمن العينة محل الدراسة. وقد يعزى هذا النمط إلى ديناميكيات مرحلة التحول، أو تكاليف التكيف الهيكلي، أو التفاوت في مستويات تبني التقنيات الحديثة.

الشكل رقم12: الخريطة الحرارية لمصفوفة الارتباط



يوجد ارتباط إيجابي وقوي بين التنمية المالية (Fdindex) والناتج المحلي الإجمالي (0.578)؛ وهذا يدل على أن تعمق القطاع المالي يرتبط ارتباطًا وثيقًا بنمو الناتج المحلي الإجمالي. وعلى الرغم من ارتباطه بجودة المؤسسات (0.131) والاستثمار الأجنبي المباشر

(0.129)، وهو ارتباط ضعيف، فإنه يرتبط بانفتاح التجارة (0.425-). وعليه، فإن التوسع المالي لا يساهم في دفع عجلة العولمة الاقتصادية. هناك ارتباطات إيجابية قوية بين الناتج المحلي الإجمالي (0.651) والحرية الاقتصادية (0.632) والاستثمار الأجنبي المباشر (0.573) وانفتاح التجارة (0.416) ومؤشر الذكاء. تتوافق النتائج مع نظرية التنمية الراسخة، التي تعتقد أن المؤسسات القوية تعزز النمو الاقتصادي والاستثمار الأجنبي والانفتاح. ترتبط الحرية الاقتصادية (EFR) ارتباطًا إيجابيًا قويًا بشكل خاص بالاستثمار الأجنبي المباشر (0.696) وارتباطًا كبيرًا بالناتج المحلي الإجمالي (0.571) ومؤشر الذكاء (0.632) وتدفق التجارة (0.518). تلعب الحرية الاقتصادية دورًا أساسيًا في تسهيل تدفقات الاستثمار ودعم هياكل النمو الموجهة نحو السوق.

كما أظهر الاستثمار الأجنبي المباشر ارتباطًا إيجابيًا متوسطًا إلى قويًا بالناتج المحلي الإجمالي (0.529) وجودة المؤسسات (0.573) وانفتاح التجارة (0.496) – مما يشير إلى أن تدفق رأس المال الدولي وجودة الحوكمة والانفتاح الاقتصادي تكمل بعضها البعض.

وكان أعلى معامل ارتباط، فوق 0.60، بين معدل الذكاء والناتج المحلي الإجمالي، يليه مباشرة معدل الذكاء والحرية الاقتصادية، والحرية الاقتصادية والاستثمار الأجنبي المباشر. وقد وجد أن المتغيرات المؤسسية الكلية الأساسية تنطوي على احتمال التعددية المترابطة. ونظراً لهذه الترابطات، قد لا تكون النماذج البسيطة كافية لالتقاط نموذج خطي للابتكار الأخضر أو محدداته بشكل مناسب. وبالتالي، فإن النتائج الأولية توفر أسباباً مقنعة لتطبيق نماذج غير خطية وحساسة للتوزيع.

قد يعكس الارتباط السلبي بين الابتكار الأخضر والنمو الاقتصادي طبيعة الاقتصاد الجزائري المعتمد على المحروقات، حيث لا يزال النمو الاقتصادي مرتبطًا بالأنشطة التقليدية كثيفة الكربون بدلًا من الابتكار الأخضر.

المطلب الثاني: اختبار عدم الخطية (اختبار BDS)

يعرض الجدول 7 نتائج اختبار Brock–Dechert–Scheinkman (BDS) لعدم الخطية التي تتراوح من أبعاد التضمين M2 إلى M6 للمتغيرات التالية، وهي الاستثمار الأجنبي المباشر (FDI) ومؤشر التنمية المالية (FIND) والناتج المحلي الإجمالي (GDP) والابتكار الأخضر (GT)، والجودة المؤسسية (IQ)، واستهلاك الطاقة المتجددة (REC)، وانفتاح التجارة (TRD)، والحرية الاقتصادية (EFR). يبحث اختبار BDS الفرضية الصفرية للسلوك المستقل الموزع بشكل متماثل (i.i.d)، والتي يتم رفضها في حالة ظهور اعتماد غير خطي في السلسلة.

الجدول رقم07: اختبار عدم الخطية (اختبار BDS)

البُعد (m)	FDI	FIND	GDP	GT	IQ	REC	TRD	EFR
M2	***15.47	***375.59	***1119.72	***52.68	***78.04	***424.74	***137.23	***31.73
M3	***15.45	***337.15	***1102.78	***54.33	***75.44	***392.80	***133.82	***31.00
M4	***15.44	***303.50	***1065.70	***54.84	***72.94	***359.36	***129.38	***30.32
M5	***15.42	***274.08	***994.82	***54.96	***70.54	***402.08	***128.81	***29.74
M6	***15.42	***248.33	***920.92	***55.21	***68.48	***435.39	***134.59	***29.20

نتائج اختبار عدم الخطية (اختبار BDS).ملاحظة: $P < 0.01^{***}$.

تظهر النتائج إحصاءات BDS كبيرة وذات دلالة عالية باستمرار عند مستوى 1٪ لجميع المتغيرات عبر جميع أبعاد التضمين، مما يشير إلى أنه يمكن رفض العمليات العشوائية الخطية. على وجه الخصوص، تظهر إحصاءات اختبار الاستثمار الأجنبي المباشر في نطاق مستقر يتراوح بين 15.42 و 15.47، بينما تظهر FIND قيمًا عالية تنخفض من 375.59 في M2 إلى 248.33 في M6. سجل الناتج المحلي الإجمالي، بشكل عام، أكبر أرقام BDS، من 1119.72 في M2 إلى 920.92 في M6، مما يشير إلى ديناميكيات غير خطية قوية.

كما أظهرت الابتكارات الخضراء (GT) عدم خطية مستمرة، حيث ارتفعت إحصاءات BDS قليلاً من 52.68 في M2 إلى 55.21 في M6. أظهرت الجودة المؤسسية (IQ) اعتماداً غير خطي قوي، حيث انخفضت IQ من 78.04 إلى 68.48 مع زيادة البعد المدمج. أظهر استهلاك الطاقة المتجددة (REC) قيم BDS عالية بشكل خاص للفترة قيد المراجعة تتراوح بين 359.36 و 435.39. وهذا يدل على سلوك غير خطي معقد. وبنفس الطريقة، أسفرت انفتاحية التجارة (TRD) والحرية الاقتصادية (EFR) عن اختبار إيجابي إحصائيًا عبر جميع الأبعاد، مما يثبت أن الأطر التجارية والمؤسسية غير خطية.

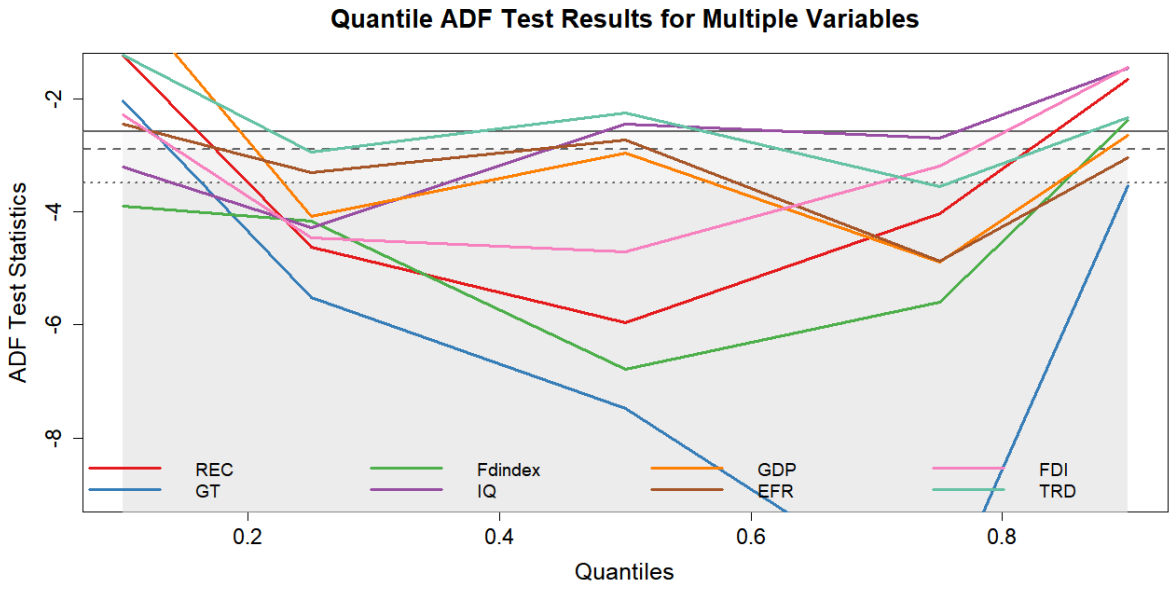
مع زيادة أبعاد التضمين، يُلاحظ انخفاض معظم إحصاءات BDS في المرتبة الثالثة، مما يشير إلى أن الاعتماد غير الخطي بين المتغيرات يضعف ولكنه لا يزال موجودًا. غالبًا ما يُلاحظ نمط مماثل للاعتماد بين السلاسل الزمنية الاقتصادية الكلية وكذلك السلاسل الزمنية البيئية. ومن المهم أن الرفض الموحد لفرضية الصفر i.i.d عبر كل سلسلة يشير إلى عدم ملاءمة النمذجة الخطية لعمليات توليد البيانات.وبالتالي، هناك دعم قوي لاستخدام تقنيات اقتصادية قياسية غير خطية وحساسة للتوزيع، مثل الانحدار الكمي والانحدار الكمي على الكمي، في التحليلات المستقبلية. إن اكتشاف وجود عدم خطية عبر الابتكار الأخضر واستهلاك الطاقة المتجددة والتنمية المالية والمتغيرات المؤسسية يستدعي استخدام نُهج مرنة يمكنها التقاط التأثيرات غير المتجانسة في توزيعات شرطية مختلفة. تؤكد هذه النتائج أن العلاقات بين المتغيرات في الجزائر لا تتبع نمطًا خطيًا بسيطًا، وهو ما يعكس تعقيد هيكل الاقتصاد الجزائري الذي يتأثر بعوامل متعددة مثل تقلبات أسعار النفط والتغيرات في السياسات الطاقوية.

المطلب الثالث: اختبارات الاستقرارية للسلاسل الزمنية

1. تحليل الجذر الوحدوي الكمي اختبار QADF.

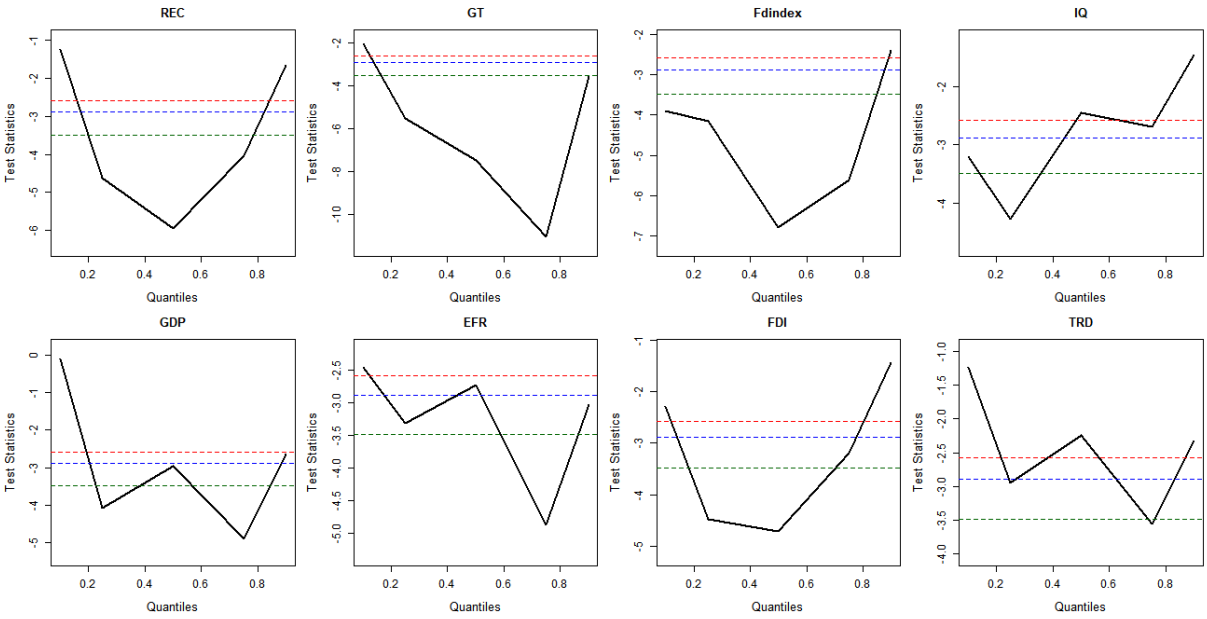
الشكل نتائج اختبار Quantile Augmented Dickey–Fuller (QADF) لاستهلاك الطاقة المتجددة (REC) والابتكار الأخضر (GT) ومؤشر التنمية المالية (Fdindex) الجودة المؤسسية (IQ)، الناتج المحلي الإجمالي (GDP)، الحرية الاقتصادية (EFR)، الاستثمار الأجنبي المباشر (FDI)، وانفتاح التجارة (TRD) عبر الكميات (0.10، 0.25، 0.50، 0.75 و 0.90) موضحة في الجدولين X و X. يتيح إطار عمل QADF، على عكس اختبارات الجذر الوحدوي التقليدية، اختبار الثبات في نقاط مختلفة من التوزيع الشرطي، وبالتالي يتيح التقاط التباين المحتمل في ديناميكيات الثبات.

الشكل رقم 13: اختبار جدر الوحدة الكمي QADF



يُظهر الرسم البياني الموضح في الشكل إحصائيات اختبار ADF اختلافات جوهرية عبر الكميات لجميع المتغيرات، مما يؤكد أن خصائص ثباتها تعتمد على التوزيع X. يعرض عدد من السلاسل نمطًا على شكل حرف U أو سلوكًا غير متماثل بما في ذلك GTو Fdindexو RECو FDI. وهذا يشير إلى استمرارية أقوى. علاوة على ذلك، تم تحسين العودة إلى المتوسط في الأطراف. تشير هذه الظاهرة إلى أنه لا يمكن تحقيق توصيف كامل للخصائص العشوائية باستخدام اختبارات الجذر الوحدوي التقليدية التي تستند إلى المتوسط.

الشكل رقم 14: اختبار جدر الوحدة الكمي QADFلكل متغير على حدى



يُظهر الجدول 8 أيضًا قيم p الخاصة بالكميات. عند الكمية 0.10، ترفض GTو Fdindexو IQو EFRو FDI فرضية الجذر الوحدوي عند مستويات الدلالة التقليدية، بينما يبدو أن RECو GDPو TRD غير ثابتة. عند الكمية 0.25، وجد أن جميع المتغيرات ثابتة عند مستوى 1٪، مما يشير إلى سلوك قوي للعودة إلى المتوسط في التوزيع المتوسط الأدنى. عند الكميات المتوسطة (0.50) والكميات المتوسطة العليا (0.75)، ترفض جميع السلاسل الفرضية الصفرية للجذر الوحدوي بثقة إحصائية عالية جدًا.

الجدول رقم08: نتائج اختبار (QADF) لاستقرارية السلاسل الزمنية

مستوى الكم(Quantile)	REC	GT	Fdindex	IQ	GDP	EFR	FDI	TRD
0.10	0.19	**0.04	***0.00	***0.00	0.92	**0.04	**0.03	0.18
0.25	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00
0.50	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00	**0.03
0.75	***0.00	***0.000	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00
0.90	*0.06	***0.00	*0.08	0.12	**0.01	***0.00	0.11	**0.01

تعود التباينات في الكميات الأعلى (0.90). تظل GTو GDPو EFRو TRD مستقرة، ولا ترفض RECو Fdindexو IQو FDI فرضية الجذر الوحدوي، مما يستدل منه على استمرار الأنظمة المتطرفة في الذيل العلوي. تشير الاستقرار غير المتماثل المذكور أعلاه إلى أن الصدمات التي تتعرض لها استهلاك الطاقة المتجددة، والتنمية المالية، وجودة المؤسسات، والاستثمار الأجنبي، تكون أكثر استمرارًا في الدول ذات النشاط المرتفع.

بشكل عام، تظهر نتائج QADF دليلاً قوياً على ثبات جميع المتغيرات اعتماداً على الكميات المئوية، مما يعني أن ديناميكيات الاستمرارية تختلف بشكل كبير عبر مختلف أنظمة التوزيع. وهذا يؤكد وجود عمليات تعديل غير خطية وغير متماثلة في الابتكار الأخضر واستهلاك الطاقة المتجددة والمتغيرات المؤسسية الكلية.

من المهم ملاحظة أن السلوك غير المتجانس لجذر الوحدة على مستوى الكميات يبرر استخدام الانحدار الكمي والكمي على الكمي في التحليل اللاحق. يمكن لهذه الأساليب أن تلتقط بشكل فعال الديناميكيات الخاصة بالنظام وتسمح باستنتاجات أكثر دقة حول تأثير الابتكار الأخضر والحرية الاقتصادية والتنمية المالية والبيئة.

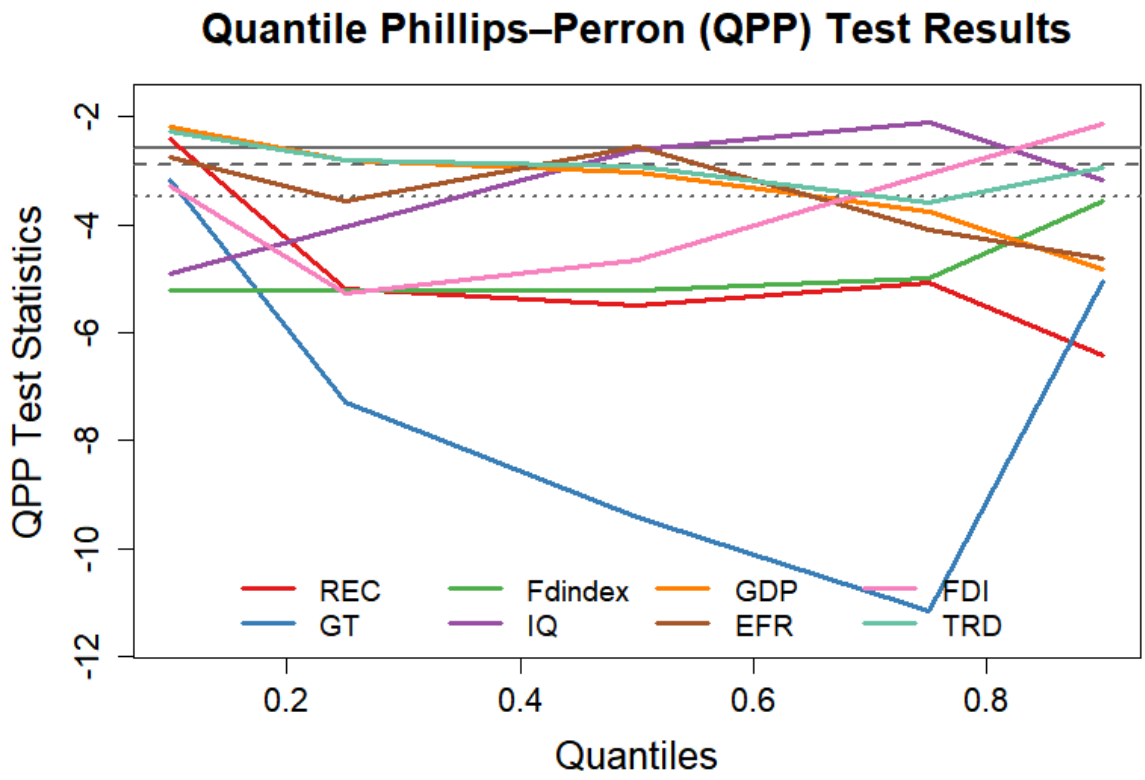
2. اختبار جذر الوحدة الكمي لفيليبس–بيرون(QPP)

الجدول رقم09: نتائج اختبار (QPP) لاستقرارية السلاسل الزمنية

مستوى الكم (Quantile)	REC	GT	Fdindex	IQ	GDP	EFR	FDI	TRD
0.10	**0.02	***0.00	***0.00	***0.00	**0.02	***0.00	***0.00	**0.01
0.25	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00	***0.01	***0.00	***0.00	***0.00
0.50	***0.00	***0.00	***0.00	**0.01	***0.00	**0.01	***0.00	**0.02
0.75	***0.00	***0.00	***0.00	*0.07	***0.00	***0.00	***0.01	***0.00
0.90	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00	***0.00	**0.03	***0.01

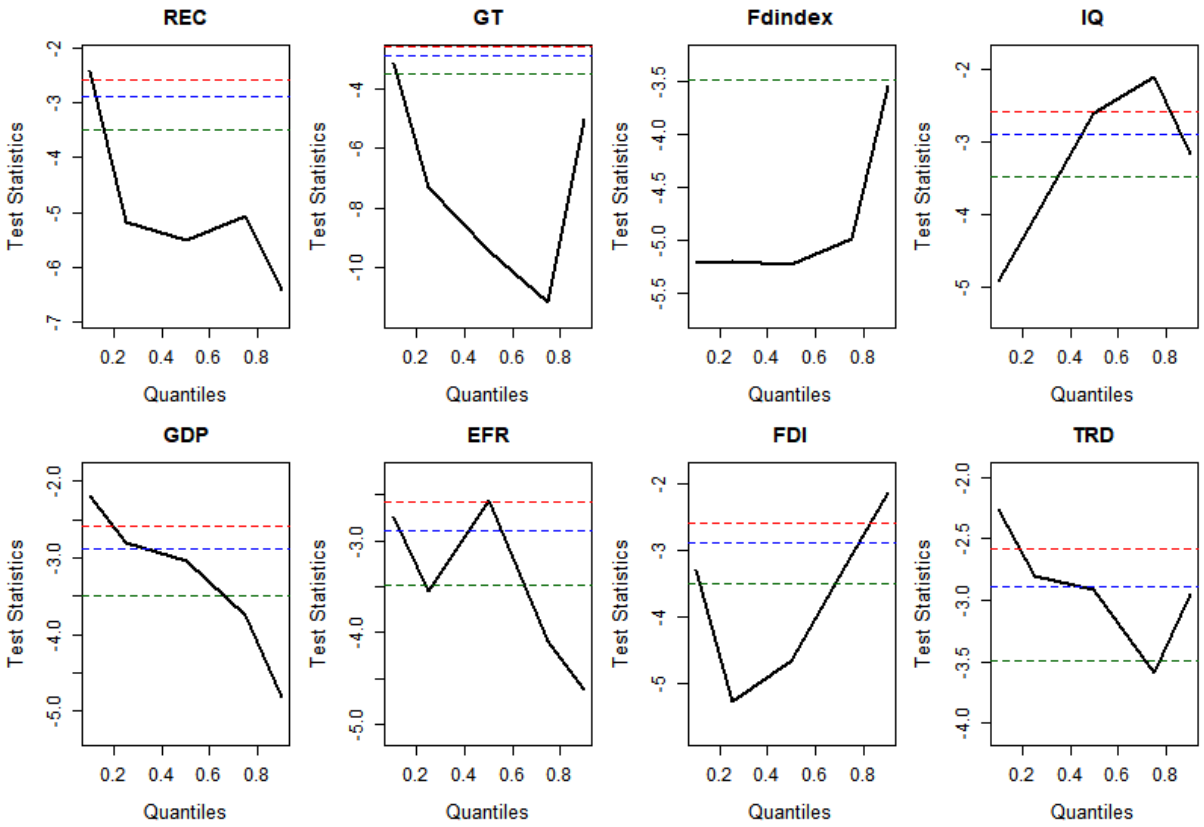
توضيح نتائج اختبار كوانتيل فيليبس–بيرون (QPP) لاستهلاك الطاقة المتجددة (REC) والابتكار الأخضر (GT) ومؤشر التنمية المالية (Fdindex) والجودة المؤسسية (IQ) والناتج المحلي الإجمالي (GDP) والحرية الاقتصادية (EFR) والاستثمار الأجنبي المباشر (FDI) وانفتاح التجارة (TRD) عند الكميات بين 0.10 و 0.90 موضحة في X والجدول .X يتمتع اختبار QPP بحجم وقوة جيدين مقابل البدائل الجزئية في ظل التباين والترابط الذاتي، وهو قادر على اختبار الثبات فيما يتعلق بنقاط مختلفة من التوزيع الشرطي.

الشكل رقم15: نتائج اختبار (QPP) لاستقرارية السلاسل الزمنية



يتميز اختبار QPP بحجمه الجيد وقوته مقابل البدائل الجزئية في ظل التباين غير المتجانس والترابط الذاتي، وهو قادر على اختبار الثبات فيما يتعلق بنقاط مختلفة من التوزيع الشرطي.تُظهر الرسوم البيانية أن إحصاءات الاختبار غير متجانسة عبر الكميات النسبية لجميع المتغيرات، مما يشير إلى سلوك عشوائي يعتمد على التوزيع. تظهر العديد من السلاسل، ولا سيما GT وREC ، أنماطًا على شكل حرف U أو غير متماثلة، مما يشير إلى استمرارية أقوى في الكميات المتوسطة ودرجة أكبر من العودة إلى المتوسط في الأطراف. وجد أن الابتكار الأخضر له إحصائيات اختبار سلبية كبيرة بشكل خاص، خاصة حول الكميات المتوسطة إلى العالية، مما يشير إلى حالة استقرار قوية أثناء مستويات الابتكار العالية.تظهر قيم p في مختلف الكميات في الجدول9. ترفض المتغيرات في الكمية السفلية (0.10) من الانحدار فرضية الجذر الوحدوي الصفرية في جميع مستويات الدلالة التقليدية، مما يشير إلى ثبات في حالات النظام السفلي. في الكمية 0.25، تحدث نتيجة مماثلة. تبدو جميع السلاسل ثابتة عند مستوى 1٪، مما يشير إلى أن التوزيع المتوسط الأدنى يعود بقوة إلى المتوسط.

الشكل رقم16: نتائج اختبار (QPP) لاستقرارية السلاسل الزمنية لكل متغير على حدا



في الكميات المتوسطة (0.50)، تبدو REC وGT وFdindex وGDP وEFR وFDI وTRD ثابتة، بينما تبدو IQأقل أهمية نسبيًا، مما يشير إلى أن الثبات أعلى نسبيًا في الجودة المؤسسية في الكميات المتوسطة. في الكميات المتوسطة العليا (0.75)، تستمر معظم المتغيرات في رفض فرضية الجذر الوحدوي، لكن IQ تظهر مرة أخرى أهمية هامشية، مما يشير إلى المتوسط (0.50)، تكون REC وGT وFdindex وGDP وEFR وFDI وTRD ثابتة، في حين أن IQ لها أهمية أضعف نسبيًا، مما يشير إلى أن الثبات أعلى نسبيًا في الجودة المؤسسية في النصف المتوسط. في النصف الأوسط العلوي (0.75)، تستمر معظم المتغيرات في رفض فرضية الجذر الوحدوي، لكن IQ يظهر مرة أخرى أهمية هامشية، مما يشير إلى آلية تعديل غير متماثلة. في النصف الأعلى (0.90)، تصبح جميع المتغيرات مهمة مرة أخرى، مما يؤكد الاستقرار في الذيل العلوي. تشير نتائج QPP إلى أن جميع المتغيرات ثابتة تعتمد على الكميات بمعنى ويلسون (1981). وبالتالي، يتم تعزيز الاستنتاجات المقابلة التي تم الحصول عليها من تحليلQADF ، الذي يستند إلى التحليل أحادي المتغير التقليدي. يشير نمط الثبات غير الخطي وغير المتماثل الذي لوحظ إلى أن الصدمات التي تتعرض لها الابتكارات الخضراء واستهلاك الطاقة المتجددة والتنمية المالية والعوامل المؤسسية تتبدد بشكل مختلف عبر أنظمة التوزيع. نظرًا لأن اختبارات الجذر الوحدوي فشلت في إثبات مسار التكيف غير المتجانس في البيانات، فإن ذلك يدعم بشكل أكبر إمكانية اعتماد تحليل الإطار القائم على الكميات (QBA) وتحليل الانحدار الكمي على الكميات (QQR)في المستقبل. إن توافق نتائج QADF وQPP يعزز متانة نتائج الثبات ويوفر أساسًا متينًا لتقييم التفاعلات غير الخطية بين الابتكار البيئي والحرية الاقتصادية والأداء الاقتصادي الكلي.

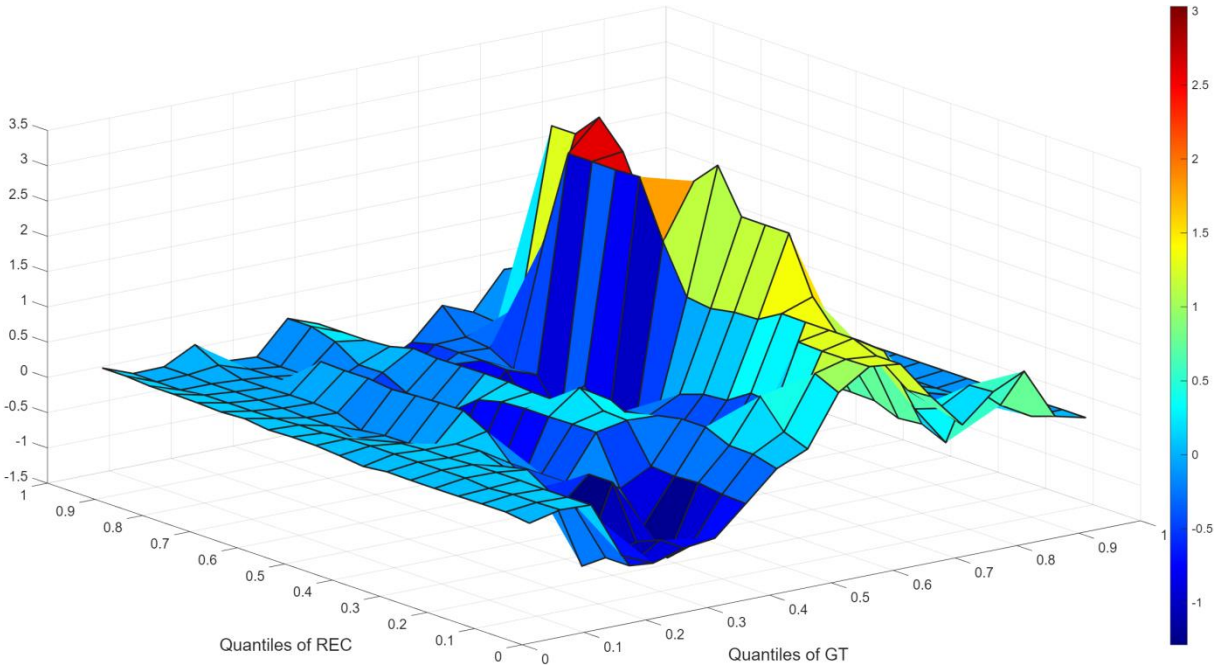
المبحث الثالث: تحليل ومناقشة النتائج

المطلب الأول: نتائج نموذج الانحدار المتعدد المتغيرات على الكميات (M-QQR)

1. الابتكار الأخضر واستهلاك الطاقة المتجددة.

يُظهر سطح الانحدار المتعدد المتغيراتعلى الكميات (M-QQR) أن التكنولوجيا الخضراء (GT) واستهلاك الطاقة المتجددة (REC) غير خطيين وغير متماثلين بشكل كبير، مما يؤكد التباين الكبير في التوزيع عبر أنماط نظام الابتكار والطاقة. وتشير الأدلة إلى أن العلاقة بين التكنولوجيا الخضراء واستهلاك الطاقة المتجددة إيجابية وسلبية وغير ذات أهمية إحصائية في أوقات مختلفة. والتحليل باستخدام المتوسطات غير فعال في ضوء هذه النتائج.

الشكل رقم17منحنى نموذج الانحدار المتعدد (M-QQR) للابتكار الأخضر



توجد علاقة إيجابية قوية عندما يقع كل من GTو REC في الكميات المتوسطة إلى العليا (حوالي 0.6-0.8). يعكس هذا النظام بيئات الابتكار الناضجة حيث تترجم التقنيات الخضراء إلى تعزيز اعتماد الطاقة المتجددة. تشير هذه الآثار الاقتصادية إلى أنه مع وجود نظام بيئي تقني عميق بما فيه الكفاية، فإن خفض تكاليف الإنتاج وتطبيع تكامل الشبكة وزيادة كفاءة النظام سيؤدي إلى نشر أسرع للطاقة المتجددة ذات الصلة.على وجه الخصوص، تستجيب REC بشكل إيجابي حتى عندما تكون GT في الكميات المنخفضة (0.2-0.4) طالما أن انتشار الطاقة المتجددة مرتفع بالفعل (0.6-1.0). وهذا يعني أن جهود الابتكار يمكن أن تستمر في تعزيز استهلاك الطاقة المتجددة عندما تكون الظروف الهيكلية مواتية. يرى Rahmanو Salimullah (2026) أن التقنيات الخضراء يمكن أن تعزز كفاءة الطاقة وتكامل النظام.

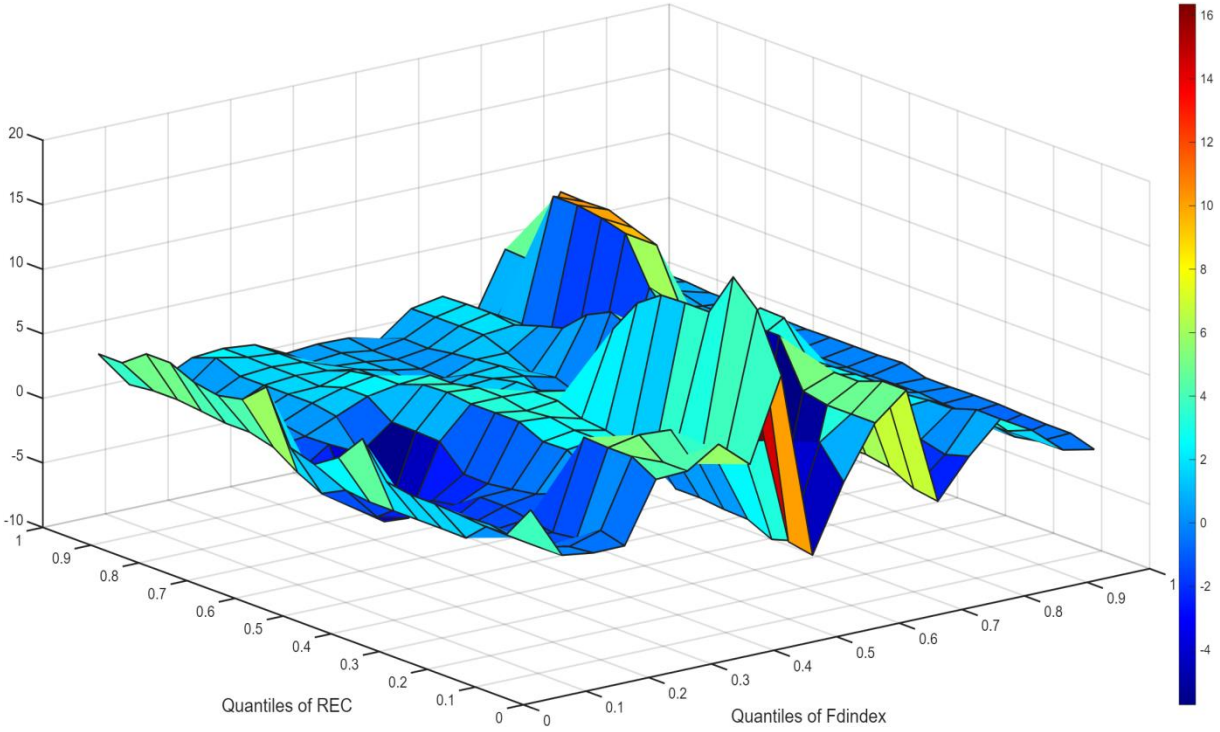
الجزء السفلي الأيسر من السطح هو المكان الذي يقع فيه كل من GTو REC ضمن أدنى شرائح 0.1–0.3. هذه المنطقة لها علاقة سلبية قوية. إلى جانب نتائج هذا الاكتشاف، فإن تطوير الابتكار الأخضر يزيد من نشاط الابتكار العام خلال هذه الفترة، وهو ما لا يحفز استخدام الطاقة المتجددة. ويمكن جني آثار إيجابية على النمو الاقتصادي على المدى الطويل. ويتوافق هذا النمط غير المتماثل مع Chenو Lubabu (2026)، اللذين وجدوا أن التكنولوجيا الخضراء لها تأثير متأخر وغير مباشر على اعتماد الطاقة المتجددة.علاوة على ذلك، تظهر مناطق تأثير محلية قريبة من الصفر عند كوانتيلات عالية جدًا من GTو REC، مما يشير إلى انخفاض عائدات كثافة الابتكار. قد تنشأ تأثيرات التشبع من حدود الشبكة أو الاختناقات المؤسسية أو سوء توزيع الموارد نحو الابتكار على حساب القدرة الاستيعابية. لاحظ Hamid et al. (2025) ديناميكيات عتبة مماثلة في دراستهم، مما يدل على أن الابتكار الأخضر المعتدل يمكن أن يعزز تنمية الطاقة المتجددة، ولكن الكثافة المفرطة يمكن أن تعيق مكاسب الكفاءة.

باختصار، تثبت نتائج M-QQR متعددة المتغيرات أن الابتكار الأخضر لا يشجع استهلاك الطاقة المتجددة إلا بعد تجاوز المستوى الحرج للتنمية. تحت هذا الحد، يكون تأثيره ضئيلًا أو سلبيًا. وفقًا لـ Yang et al. (2025) و Javed et al. (2024)، تتركز النتائج الإيجابية في أنظمة الابتكار المتوسطة إلى العالية، مما يساعد على الكشف عن التباين التوزيعي الذي تغفل عنه المناهج التقليديةمن حيث الاستجابة السياساتية، في حالة الجزائر، سيتطلب الابتكار الأخضر في مراحله المبكرة تمويلاً قوياً ودعماً مؤسسياً وبنيات تحتية قوية لكي يبدأ في الانطلاق. ولذلك، فإن استراتيجية ابتكار مرحلية تتماشى مع النضج التكنولوجي أمر ضروري لنجاح التحول الطاقي.

2. التطوير المالي واستهلاك الطاقة المتجددة

يشير سطح M-QQR إلى وجود تفاعل غير خطي ومتوقف على النظام بين التنمية المالية (Fdindex) واستهلاك الطاقة المتجددة (REC)، مما يؤكد أن العلاقة بين التمويل والطاقة تتباين بشكل ملحوظ عبر التوزيعات الشرطية. لا تعوق التنمية المالية الاستدامة البيئية أو الاقتصادية ولا تعززها، بل تعمل على تحييد هذا التأثير وفقًا لمستويات التطور المالي وانتشار الطاقة المتجددة.

الشكل رقم18منحنى نموذج الانحدار المتعدد (M-QQR)للتطوير المالي



في الكميات المنخفضة من Fdindex (0.1 إلى 0.3)، تكون العلاقة سلبية في الغالب، خاصة عندما يقع REC في الكميات المنخفضة إلى المتوسطة (0.2 إلى 0.6). ويعكس هذا النظام بيئات مالية ضحلة مع أنظمة مصرفية متخلفة وأسواق رأس مال ضعيفة وندرة الأدوات المالية الخضراء. وفي مثل هذا السيناريو، يتم توجيه الموارد المالية عمومًا نحو المشاريع ذات فترات الاسترداد القصيرة أو تلك التي تعتمد بشكل كبير على الوقود الأحفوري. علاوة على ذلك، تواجه مشاريع الطاقة المتجددة تكاليف اقتراض عالية ومخاطر استثمارية أعلى. وفي حالة الجزائر، تتوافق هذه المرحلة مع نقاط الضعف الهيكلية في الوساطة الائتمانية ومحدودية توافر التمويل طويل الأجل.مع اقتراب التنمية المالية من القيم المتوسطة (0.4-0.7)، تصبح العلاقة إيجابية بقوة، خاصة عندما يكون مؤشر REC (0.6-0.8) أكبر من المتوسط. ويجسد هذا النظام مرحلة انتقالية يعزز فيها التعمق المالي تعبئة رأس المال، ويحسن آليات تقاسم المخاطر، ويقلل من قيود التمويل للاستثمارات المتجددة. تشير القمم الواضحة حول الكميات المئوية لمؤشر Fdindex بين 0.45 و 0.65 إلى وجود تأثيرات عتبة. فقط بعد أن ينضج التمويل بشكل كافٍ يبدأ في توليد آثار غير مباشرة كبيرة على استهلاك الطاقة المتجددة. وهذا يدل على أن التنمية المالية فعالة من الناحية التشغيلية عندما تكون المؤسسات قادرة على دعم تمويل المشاريع والسندات الخضراء والإقراض المستدام.على الرغم من أن التأثير الهامشي على شهادات الطاقة المتجددة يضعف أو يصبح غير ذي أهمية عند الكميات العالية (0.8-0.95) من التنمية المالية. يشير هذا الاتجاه إلى انخفاض العائدات؛ حيث يؤدي التوسع المالي الإضافي إلى فوائد أقل لنشر الطاقة المتجددة. قد تنشأ تأثيرات التشبع بسبب مجموعة من الظواهر، بما في ذلك الاختناقات الهيكلية، أو حدود سعة الشبكة، أو عدم توافق الأهداف الاقتصادية والبيئية.

تتوافق هذه النتائج مع تلك التي توصل إليها Dimnwobi et al. (2022)، الذين أشاروا إلى أن التنمية المالية لا تعزز الطاقة المتجددة إلا على المدى الطويل. وبالمثل، أشار Antonو Nucu (2020) إلى كيفية تكامل القطاع المصرفي وسوق رأس المال لتعزيز الاستثمار في المصادر المتجددة. بالإضافة إلى ذلك، تستند نتائجنا إلى نتائج Gaies et al (2019) التي تظهر التباين التوزيعي في العلاقة بين التنمية المالية وعدم المساواة: نرى تأثيرات ضعيفة أو سلبية في الكميات المنخفضة، وتأثيرات إيجابية قوية في المستويات المتوسطة، وتأثيرات مخففة في الأنظمة العليا المتطرفة التي لا يمكن اكتشافها بواسطة النماذج غير الخطية القياسية.

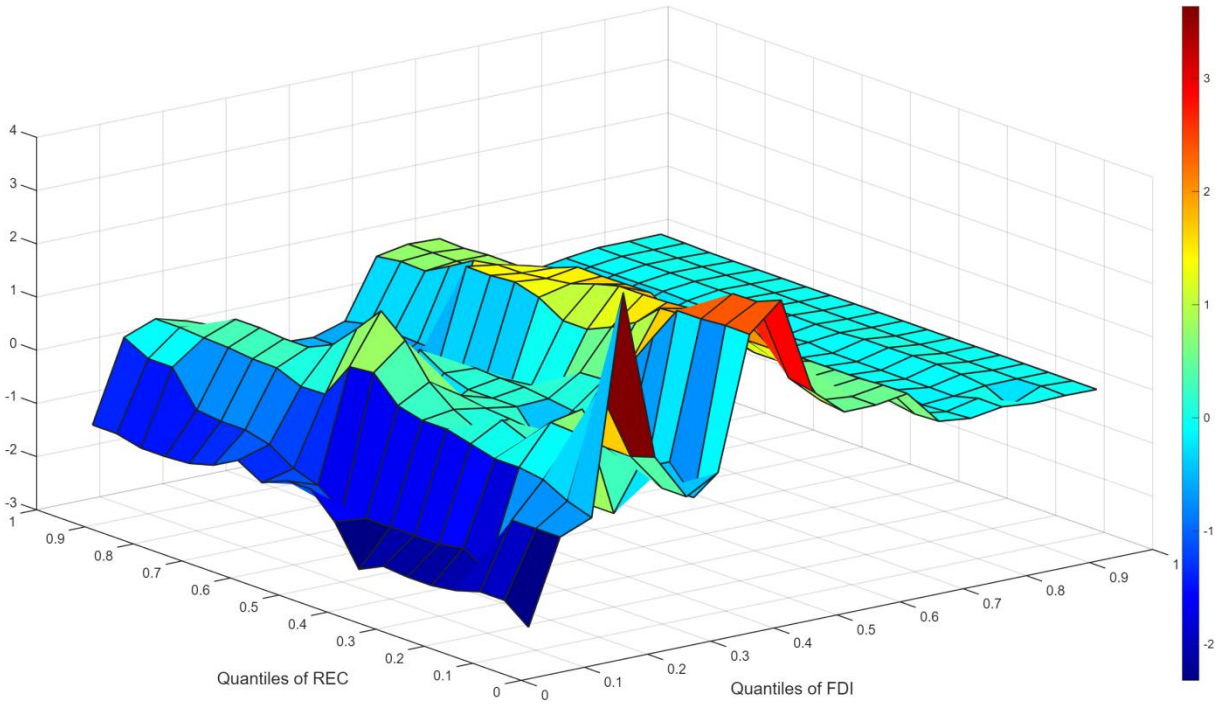
كما وجدت الديناميكيات غير المتماثلة في Lahiani et al. (2021) الذين وجدوا أن الصدمات المالية لها آثار غير متساوية على المدى الطويل على الطاقة المتجددة في الولايات المتحدة. في الوقت نفسه، يوضح Mukhtarov et al. (2022) أن الشفافية المالية والائتمان مهمان لتعزيز الطاقة المتجددة. ومن المهم أن الأدلة المستندة إلى الكميات التي توصلنا إليها تظهر أن التنمية المالية تدعم الطاقة المتجددة بشكل رئيسي في الأنظمة المالية المتوسطة إلى العالية، مما يعكس وجود عتبات نضج حرجة.

بالنسبة للجزائر، تظهر هذه النتائج أن التطوير المالي لا يمكن أن تكون عاملاً حاسماً في تحول الطاقة إلا بعد التغلب على القيود المؤسسية والهيكلية. الاعتماد فقط على النمو المالي في المراحل المبكرة ليس كافياً وقد يعزز الأنشطة كثيفة الكربون. لذلك، يجب أن تدعو السياسات إلى استخدام أدوات الائتمان الأخضر، وتوفير آليات مستدامة لسوق رأس المال، ووضع لوائح لتوجيه الأموال نحو الطاقة المتجددة والاستخدامات المستدامة. ومن الضروري وضع استراتيجية إصلاح مالي متعددة الأوجه تشمل الشفافية والشمولية والفحص البيئي لتحويل التعميق المالي إلى نتائج فعلية في مجال الطاقة المتجددة.

3. الاستثمار الأجنبي المباشر واستهلاك الطاقة المتجددة

يكشف سطح M-QQR عن وجود علاقة غير خطية بشكل لافت للنظر وتعتمد على النظام بين الاستثمار الأجنبي المباشر (FDI) واستهلاك الطاقة المتجددة (REC) في الجزائر. تظهر النتائج أن رأس المال الأجنبي لا يؤثر بشكل ثابت على تحول الطاقة في البلاد، بل يعتمد على التدفق الداخلي والمستويات الحالية لاختراق الطاقة المتجددة. يعكس هذا السلوك غير المتماثل وضع الجزائر كاقتصاد هيدروكربوني مع استثمار أجنبي مباشر مركّز.

الشكل رقم19: منحنى نموذج الانحدار المتعدد (M-QQR)للاستثمار الأجنبي المباشر



في الربيعات المنخفضة (0.1-0.3) من الاستثمار الأجنبي المباشر، وخاصة عندما يكون استهلاك الطاقة المتجددة أيضًا في الربيعيات المنخفضة إلى المتوسطة (0.2-0.5)، تهيمن العلاقة السلبية. ينطبق هذا النظام على الفترات التي تتميز بتدفقات محدودة من رأس المال الأجنبي، والتي تتركز بشكل أساسي في الصناعات الاستخراجية التقليدية. تشمل هذه الصناعات بشكل أساسي النفط والغاز الطبيعي. نظراً لاعتماد الجزائر التاريخي على الهيدروكربونات، ولأن إنتاج الطاقة يقع في الغالب في أيدي الشركات المملوكة للدولة، فإن تدفق الاستثمار الأجنبي المباشر المنخفض يعزز الهياكل التي تعتمد بشكل مكثف على الوقود الأحفوري. في ظل هذه الظروف، لا يساهم الاستثمار الأجنبي بما يكفي من الانتشار التكنولوجي وتعميق رأس المال للبنية التحتية المتجددة. قد تستمر أنماط الإنتاج كثيفة الكربون، مما يعيق أي مبادرات محلية متجددة.عندما ينتقل الاستثمار الأجنبي المباشر إلى الربيعيات المتوسطة (0.4-0.6)، فإنه يظهر علاقة إيجابية قوية للغاية، لا سيما عندما يكون REC في أنظمة أعلى من المتوسط (0.6-0.8). يمثل هذا النظام المتوسط مرحلة انتقالية يصبح فيها رأس المال الأجنبي والقدرة الاستيعابية المحلية أكثر إنتاجية. عندما يصل الاستثمار الأجنبي المباشر إلى هذه المستويات، يمكنه تعزيز نشر الطاقة المتجددة بالطرق التالية: نقل التكنولوجيا، والخبرة الإدارية، وتمويل المشاريع، والتكامل العالمي في سلاسل القيمة الخضراء. يشير التواجد المقدر للقمم المحلية حول نقاط الكميات من 0.45 إلى 0.55 من الاستثمار الأجنبي المباشر إلى تأثير عتبة، مما يعني أن الاستثمار الأجنبي لا يبدأ في تحفيز استهلاك الطاقة المتجددة بشكل ملموس إلا بعد وصول تدفق الاستثمار إلى مستوى حرج وبعد أن تصل البنية التحتية المتجددة إلى مستوى كافٍ من النضج.والنتيجة مهمة بشكل خاص لسياسة التنويع التي تنتهجها الجزائر في إطار تحولها الطاقي. فعندما تتوافق الموارد الأجنبية مع أهداف الطاقة المتجددة، مثل الاستثمارات في الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، يمكنها تعويض النقص في التمويل المحلي، وهو أمر بالغ الأهمية في ظل الوقت الضائع. ومع ذلك، لن تحدث هذه الآثار الإيجابية إلا عندما تكون الأطر المؤسسية والتنظيمية مستقرة

بما يكفي لجذب الاستثمارات الخضراء طويلة الأجل والاحتفاظ بها.في أعلى شرائح الاستثمار الأجنبي المباشر (0.8-0.95)، ينعكس سلوك الاستجابة مرة أخرى إلى سلبي ضعيف، خاصة وأن قطاع الطاقة المتجددة يبقى في الشرائح الدنيا. ويظهر هذا الاتجاه انخفاض أو تأثيرات ضارة لتركيز رأس المال الأجنبي المفرط. في الجزائر، تركزت التدفقات الضخمة للاستثمار الأجنبي المباشر في البداية بشكل حصري تقريباً في استخراج الهيدروكربونات. يمكن أن يؤدي الاعتماد المفرط على رأس المال الأجنبي في قطاع الاستخراج إلى تفاقم فخ الاعتماد الأقصى على الموارد، وتعزيز احتباس الكربون، وتأخير التحول الهيكلي. علاوة على ذلك، يمكن أن يؤدي التدفق الكبير للاستثمار الأجنبي المباشر إلى إحداث تأثيرات حجمية، ومن شأن هذه التأثيرات أن ترفع الطلب الإجمالي على الطاقة بوتيرة أسرع من توسع الطاقة المتجددة.

تتوافق الديناميات غير الخطية التي تم تحديدها في هذا البحث مع Kang et al. (2021)، الذين وجدوا أن الاستثمار الأجنبي المباشر يؤثر سلبًا على الطاقة المتجددة في جنوب آسيا بسبب تركيزه، و Tiwari et al. (2021)، الذين أظهروا أن الآثار السلبية تختلف حسب مستويات التنمية. ومع ذلك، فإن نتائج QQR متعددة المتغيرات لدينا توسع نطاق هذا العمل من خلال الكشف عن العلاقة التي تعتمد بشكل كبير على التوزيع بين الاستثمار الأجنبي المباشر والمصادر المتجددة في الجزائر.

- سلبي في الأنظمة ذات الاستثمار الأجنبي المباشر المنخفض،
- إيجابي في الأنظمة المتوسطة،
- متناقص أو سلبي في الأنظمة العليا المتطرفة.

تتطابق النتائج أيضًا مع الأدلة التي قدمها Doytchو Narayan (2015) اللذان أظهرا أن آثار الاستثمار الأجنبي المباشر تختلف من منظور التكوين القطاعي. في الجزائر، الاستثمار الأجنبي ممثل بشكل مفرط في قطاع الهيدروكربونات. لا يظهر تأثير" الهالة "المعزز للطاقة المتجددة إلا عندما يتم توجيه الاستثمار إلى القطاعات كثيفة التكنولوجيا أو قطاعات الخدمات. وبالمثل، يرى على وآخرون (2025) أن الاستثمار المحلي في الطاقة المتجددة بسبب الاستثمار الأجنبي المباشر يكون أقوى عندما تكون القدرة الاستيعابية ومواءمة السياسات البيئية قوية بما فيه الكفاية. ويجادلون بذلك في سياق الأنظمة الإيجابية ذات الكميات المتوسطة التي لوحظت في هذه الدراسة.

بناءً على النتائج، يمكن استنتاج أن هناك علاقة غير متماثلة بين الاستثمار الأجنبي المباشر وقدرة الطاقة المتجددة في الجزائر. ويحدث تأثير الاستثمار الأجنبي المباشر على استهلاك الطاقة المتجددة بشكل أساسي عند مستويات معتدلة من التدفقات الداخلة وفي الأوقات التي يصل فيها انتشار الطاقة المتجددة إلى مرحلة التوطيد. من ناحية أخرى، قد يؤدي الاستثمار الأجنبي المباشر الضئيل أو شديد التركيز إلى إعاقة التحول إلى الطاقة النظيفة وتثبيت المسارات المعتمدة على الوقود الأحفوري.من منظور سياسي، يبدو أن نتائج مثل هذه تشير إلى أن استراتيجية التحول الطاقي في الجزائر يجب ألا تقتصر على جذب رأس المال الأجنبي فقط، بل يجب أيضا إعطاء الأولويةلتوجيه الاستثمار الأجنبي المباشر نحو القطاعات المتجددة ومنخفضة الكربون،تعزيز آليات الفحص البيئي للمشاريع الواردة، تحسين القدرة الاستيعابية المحلية من خلال تحسين المهارات والتكنولوجيا، ضمان الاستقرار التنظيمي لدعم الاستثمار

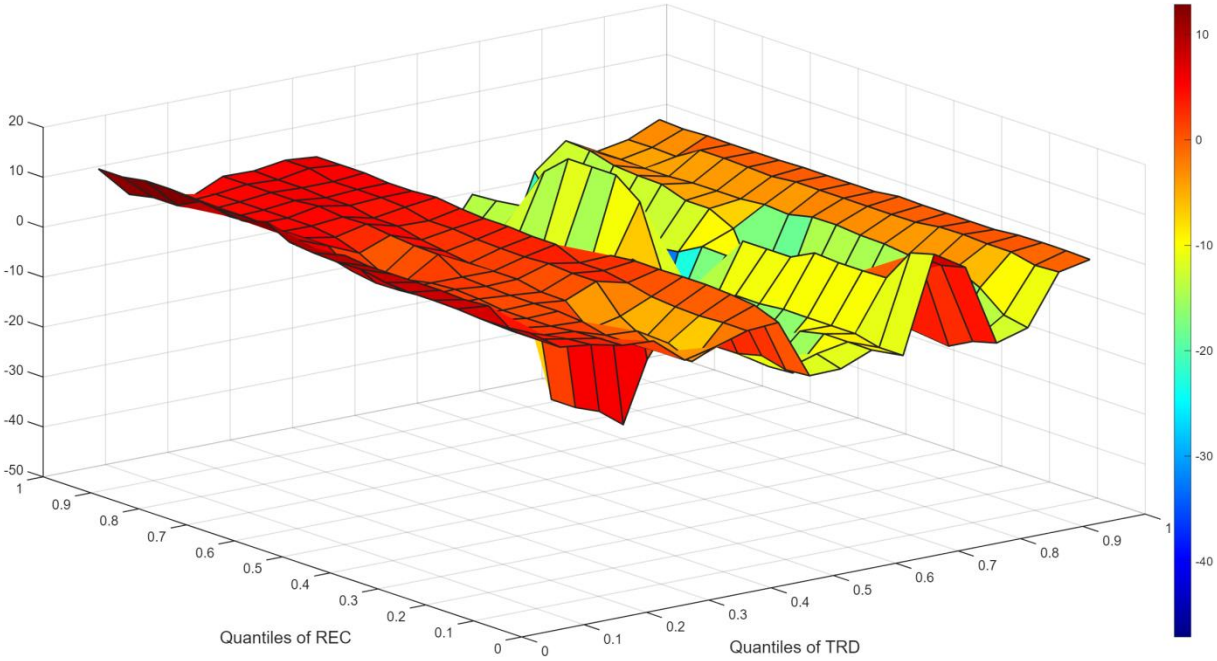
الأخضر على المدى الطويل.وفي غياب التنسيق بين القطاعات والمؤسسات، سيؤدي الاستثمار الأجنبي إلى تعزيز الاعتماد على الهيدروكربونات دون إحداث تحول هيكلي. وبالتالي، يمكن للاستثمار الأجنبي المباشر أن يعزز النمو المتجدد في الجزائر إذا تم تنظيمه بشكل سليم وإذا تم دمج رأس المال الأجنبي في سياسة صناعية خضراء أوسع نطاقاً. يعكس هذا السلوك اعتماد الجزائر التاريخي على الاستثمارات الأجنبية في قطاع المحروقات، حيث يتم توجيه الجزء الأكبر من هذه الاستثمارات نحو الأنشطة التقليدية، مما يحد من تأثيرها الإيجابي على التحول الطاقوي. وبالتالي، فإن أثر الاستثمار الأجنبي يبقى مشروطًا بمدى توجيهه نحو القطاعات النظيفة.

4. الانفتاح التجاري واستهلاك الطاقة المتجددة

تظهر نتائجM-QQR عدم تناسق كبير فيما يتعلق بـ TRD في العلاقة الاقتصادية مع REC في الجزائر، مما يعني أن التجارة الدولية تؤثر على تحول الطاقة من خلال آليات تعتمد على النظام. ووفقًا للنتائج، فإن انفتاح التجارة لا يؤثر بشكل متجانس، بل يقيد ويحفز نشر الطاقة المتجددة اعتمادًا على مستوى انفتاح التجارة وانتشار الطاقة المتجددة.

في الربيعيات الدنيا من انفتاح التجارة (0.1-0.3)، خاصة عندما تنتمي REC أيضًا إلى الربيعيات الدنيا إلى المتوسطة (0.2-05)، تكون الآثار المقدرة سلبية في الغالب. يتزامن هذا النظام مع فترات الاندماج المحدود في السوق العالمية، حيث تعاني الجزائر من محدودية الوصول إلى التقنيات المتجددة المتقدمة والمعدات الرأسمالية والخبرة الأجنبية. وعندما يحدث ذلك، تكون القدرة على استيراد تقنيات الطاقة النظيفة الجديدة محدودة ويستمر الاعتماد على الهيدروكربونات في تحقيق عائدات التصدير. ويؤدي انخفاض انفتاح التجارة إلى تعزيز الاعتماد على الوقود الأحفوري وتأخير إنشاء البنية التحتية للطاقة المتجددة. وينتج هذا الوضع عن اعتماد هيكل الجزائر على صادرات الطاقة والسياسة الصناعية التاريخية ذات الطابع الخارجي المنخفض.

الشكل رقم20: منحنى نموذج الانحدار المتعدد (M-QQR)للانفتاح التجاري



مع انتقال انفتاح التجارة إلى القيم المتوسطة (0.4-0.6)، تزداد قوة العلاقة وتبدأ في التحول إلى إيجابية بشكل ملحوظ. في هذه الحالة، مع دخول REC إلى أنظمة أعلى من المتوسط (0.6-0.8)، يكون التأثير أكبر. يصف هذا الإطار الزمني حالة حيث يتيح الانفتاح الأكبر وصولاً أسهل إلى التكنولوجيا المتجددة المستوردة، ويخفض تكاليف الأجهزة، ويزيد المشاركة في سلاسل التوريد الخضراء العالمية. تشير التقلبات الإيجابية المحلية حول شرائح TRD التي تتراوح بين 0.45 و0.65 إلى ديناميكيات عتبة: لا يساعد انفتاح التجارة في مجال الطاقة المتجددة إلا بعد الوصول إلى مستوى أدنى من التكامل. ونتيجة لذلك، يساعد التحرير المعتدل الجزائر على الوصول إلى السوق العالمية للحصول على الألواح الشمسية وتوربينات الرياح والخبرة الهندسية التي يمكن أن تساعد في تسريع عملية الاكتتاب في الطاقة المتجددة بمجرد استقرار مستويات القدرة الاستيعابية المحلية.

ومع ذلك، في ظل معدلات انفتاح تجاري عالية (0.8-0.95)، تشهد الأنظمة ذات معدلات انخفاض في دخل الفرد تأثيرًا هامشيًا سلبيًا أو سائلًا. وقد كان للانفتاح المتزايد تأثير تنازلي أو عكسي. في سياق الجزائر، قد تؤدي زيادة تعرض البلد للتجارة إلى زيادة اعتماده على واردات عالية من الوقود الأحفوري أو تقييد الصناعات المتجددة المحلية من خلال الضغوط التنافسية. علاوة على ذلك، فإن الانفتاح على التجارة التدريجية دون سياسات صناعية خضراء قد يؤدي إلى تفاقم الاختلالات التجارية ويحد من الاحتفاظ بالقيمة المضافة في سلاسل توريد الطاقة المتجددة. وهذا أمر بالغ الأهمية لأن تحرير التجارة قد لا يضمن وحده التوسع في الطاقة المتجددة ويمكن أن يقوض تنمية الطاقة النظيفة المحلية في حالة عدم وجود تنسيق هيكلي.

يتوافق التأثير غير المتماثل المذكور في هذه الدراسة مع نتائج Ben Aïssa et al. (2013) التي تشير إلى أن التجارة تساعد في نمو الاقتصادات الأفريقية دون المساهمة في استخدام الطاقة المتجددة. وبالمثل، ادعى Zeren وAkkuş (2019) أن انفتاح التجارة له علاقة سلبية طويلة الأمد بالطاقة المتجددة بالنسبة للاقتصادات الناشئة. ومع ذلك، يشيرون إلى قنوات غير مباشرة إيجابية

تم إنشاؤها من خلال تقليل الاعتماد على الطاقة غير المتجددة المستوردة. وتُحسّن نتائج QQR متعددة المتغيرات هذه المقترحات، حيث يعزز انفتاح التجارة استهلاك الطاقة المتجددة بشكل أساسي في أنظمة التجارة المتوسطة. ومع ذلك، فإن تأثير انفتاح التجارة هذا يختفي أو ينعكس بعيدًا عن الكميات المتوسطة.

وفقًا لـ Zhang et al.، تم توثيق تأثيرات العتبة في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD) حيث تدعم الواردات تطوير الطاقة المتجددة فقط حتى مستوى معين. بعد هذا المستوى، تصبح هذه الواردات معوقة. تشير المناطق الإيجابية على شكل حافة الموجودة في سطح M-QQR لدينا إلى ذلك بقوة. يبدو أن الجزائر أيضًا تستفيد من الانفتاح على التجارة فقط حتى حد معين. من ناحية أخرى، وجد Zhongweiو Liu (2022) أن الانفتاح التجاري له آثار إيجابية مستمرة في اقتصادات مجموعة العشرين بسبب انتشار التكنولوجيا. وتدعم نتائجنا هذا القناة في أنظمة الكميات المتوسطة. ومع ذلك، تشير القيم السلبية القصوى التي تم الكشف عنها هنا إلى دور القدرة الاستيعابية المحلية وسياسة الطاقة المنسقة.

بالإضافة إلى ذلك، يذكر دام وساركودي (2023) أن الاستدامة البيئية في تركيا تتحسن على المدى القصير، على الرغم من تدهورها على المدى الطويل بسبب الانفتاح التجاري. تدعم أدلتنا المستندة إلى الكميات هذا الرأي من خلال إظهار وجود تباينات توزيعية في الجزائر، حيث يعزز الانفتاح التجاري الطاقة المتجددة فقط لمجموعات محددة من كثافة التجارة وانتشار الطاقة المتجددة.

تُظهر نتائجM-QQR أن العلاقة بين انفتاح التجارة والطاقة المتجددة في الجزائر غير خطية بشكل واضح وتعتمد على النظام. عندما يتعلق الأمر بنظام التكامل المعتدل، يمكن أن تكون التجارة عاملًا مهمًا في تعزيز استهلاك الطاقة المتجددة. ومع ذلك، قد يؤثر الانفتاح الأقل بكثير أو المفرط سلبًا على نشر الطاقة النظيفة. ومن منظور آخر، يجب أن تتجاوز استراتيجية الجزائر التجارية التحرير الواسع النطاق لتشمل سياسات التجارة الخضراء. ومن الأولويات الملحة تسهيل استيراد التكنولوجيات المتجددة، ودعم صناعات الطاقة النظيفة المحلية، وتشجيع التعاون الإقليمي في سلاسل القيمة الخضراء. إن مجرد توسيع الانفتاح التجاري، دون وضع سياسات تكميلية في الصناعة والطاقة، لن يكون كافياً لتحقيق فوائد مستمرة للطاقة المتجددة. يشير هذا إلى أن الانفتاح التجاري في الجزائر لا يؤدي تلقائيًا إلى دعم الطاقة المتجددة، بل يعتمد على طبيعة الواردات والصادرات، حيث قد يعزز في بعض الحالات الاعتماد على الطاقات الأحفورية بدلًا من نقل التكنولوجيا النظيفة.

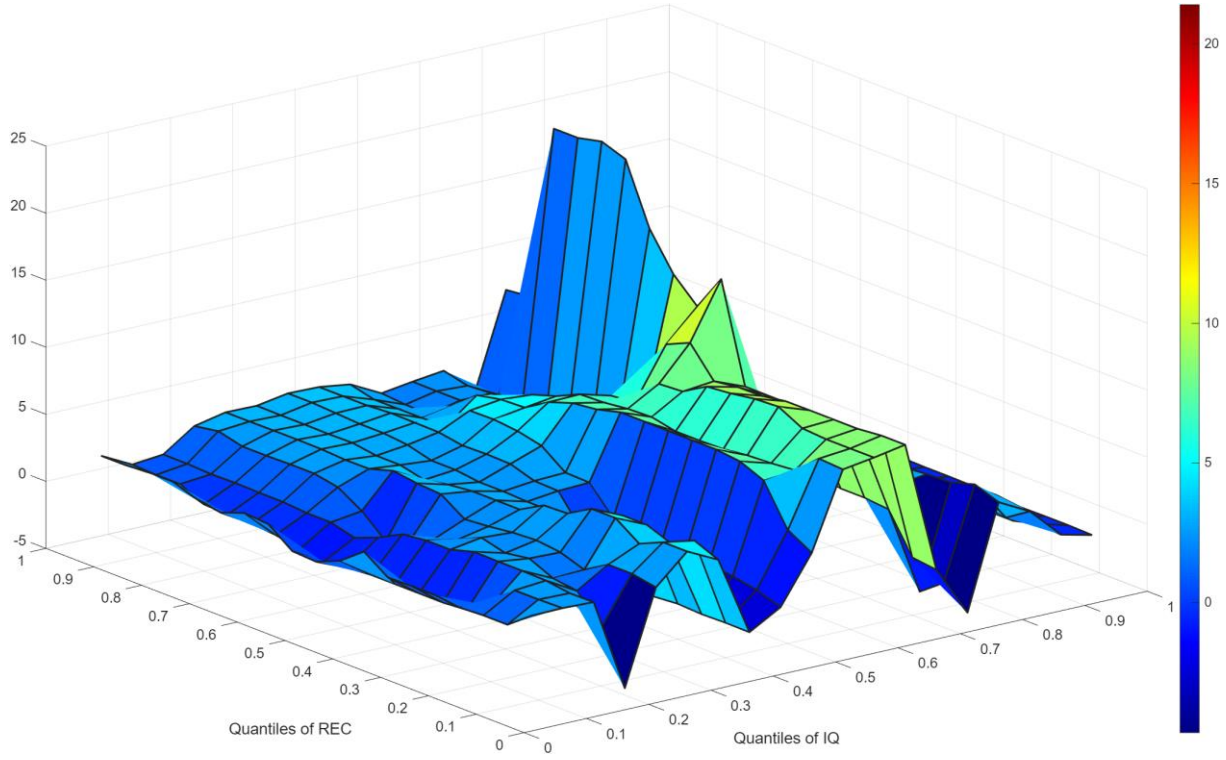
5. جودة المؤسسات واستهلاك الطاقة المتجددة

يكشف سطح M-QQR عن تأثير غير متماثل بين الجودة المؤسسية (IQ) واستهلاك الطاقة المتجددة؛ ويلاحظ تأثير غير خطي في حالة الجزائر. علاوة على ذلك، فإن هياكل الحوكمة مهمة، لكنها تؤثر على تحول الطاقة الجزائري بطريقة تعتمد على النظام. العلاقة بين الحوكمة والجودة المؤسسية لها تأثير على نشر الطاقة المتجددة. وقد وجد أن الجودة المؤسسية لا تؤثر بشكل موحد. فالجودة المؤسسية إما تقيد نشر الطاقة المتجددة أو تتيح نشرها. وهي تحمي انتشار الطاقة المتجددة في ظل حوكمة مكثفة، كما تعزز انتشارها في ظل ظروف أقل ملاءمة.

وعندما تكون الجودة المؤسسية أقل من 0.4، وتكون قيم شهادات الطاقة المتجددة أقل من 0.6، يكون التأثير سلبياً في الغالب. وتتميز هذه الأنظمة ببيئات مؤسسية ضعيفة تتسم بعدم اليقين التنظيمي، والشفافية المحدودة، والجمود البيروقراطي، وزيادة عدم التوحيد. في السياق الجزائري، يعني ذلك تأخير الموافقة على مشاريع الطاقة المتجددة، وضعف التنسيق بين الوكالات العامة، وضعف الحوافز للقطاع الخاص، وما إلى ذلك. نظرًا لتركيز قطاع الطاقة في الجزائر في المؤسسات المرتبطة بالهيدروكربونات، فإن الجودة المؤسسية المنخفضة تميل إلى تفاقم الاعتماد على الوقود الأحفوري. وبالتالي، فإنها ستثني عن الاستثمار في البنى التحتية المتجددة. لا تعيق نقاط الضعف في الحوكمة توسع استخدام الطاقة المتجددة فحسب، بل تمنع أيضًا تطويرها.

مع انتقال جودة المؤسسات من الربيعيات المنخفضة إلى المتوسطة والعالية (أي حوالي 0.55–0.75)، تظهر REC بشكل متزايد علاقة إيجابية قوية عندما تكون الطاقة المتجددة أعلى من المتوسط (0.6–0.8). يعكس النظام انتقالًا يتم فيه تحسين الحوكمة من خلال زيادة مصداقية التنظيم والاستقرار السياسي والكفاءة الإدارية – مما يقلل بشكل كبير من عدم اليقين في الاستثمار ويعزز فعالية تنفيذ السياسات. تشير القمم المحلية التي تظهر حول هذه الكميات من مؤشرات الجودة المؤسسية إلى وجود تأثيرات عتبة؛ أي أن الإصلاحات المؤسسية لا تطلق العنان لتأثيرات كبيرة على الطاقة المتجددة إلا بعد الوصول إلى مستوى معين من الحوكمة. من منظور اقتصادي، هذا يعني أنه بمجرد أن توفر الجزائر أطرًا تنظيمية أكثر وضوحًا وإشارات سياسية أكثر قابلية للتنبؤ وآليات مساءلة محسنة، يمكن أن تصبح الجودة المؤسسية محركًا قويًا لنشر الطاقة المتجددة. ومع ذلك، عند مستويات عالية جدًا من الجودة المؤسسية (0.8–0.95)، يصبح التأثير الإضافي على شهادات الطاقة المتجددة أقل وضوحًا، مما يشير إلى انخفاض العائدات. يشير هذا الاتجاه إلى أنه في حين أن المؤسسات القوية ضرورية لبدء عملية التحول الطاقي وتسريعها، فإن مجرد تحسين الحوكمة (الذي يستغرق وقتًا في حد ذاته) لا يمكن أن يضمن التوسع المستمر في الطاقة المتجددة في غياب التمويل والتكنولوجيا والشبكة. لن يكون من الممكن تحقيق إزالة الكربون بشكل عميق في غياب الجودة المؤسسية المطلوبة

الشكل رقم21: منحنى نموذج الانحدار المتعدد (M-QQR)للجودة المؤسساتية



وفقًا لـ Saadaoui و Chtourou (2023)، فإن الجودة المؤسسية، التي تحفز استهلاك الطاقة المتجددة في تونس، تتوافق مع نتائج هذه الورقة. بالإضافة إلى ذلك، أظهر Benlebbad (2023) أن الحوكمة هي أحد العوامل الرئيسية التي تحدد استهلاك الطاقة المتجددة في اقتصادات منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. يُظهر استخدامنا لبيانات مستودع مؤشرات التنمية التابع للبنك الدولي أن الجودة المؤسسية في الجزائر لها آثار إيجابية في الأنظمة ذات الجودة المتوسطة إلى العالية في مجال الحوكمة. ومع ذلك، فإن آثارها ضعيفة أو سلبية في الأنظمة التي تعاني من انخفاض الجودة المؤسسية.

بالإضافة إلى ذلك، يؤكد (متيراوي وآخرون 2024) أن الاستقرار السياسي وفعالية الحكومة يساعدان على تطوير الطاقة المتجددة في البلدان الرئيسية في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. يمكننا أن نرى من سطح M-QQR أن المناطق الأكثر إيجابية تتركز نحو الكميات العليا. نرى بشأن هذه الارتباطات الإيجابية أن تحسين القدرات المؤسسية يعزز ثقة المستثمرين ويساعد في تنفيذ مشاريع الطاقة المتجددة. وعلى نفس المنوال، وفقًا لـ (Bergougui و Meziane 2026)، فإن الصدمات المؤسسية في الجزائر غير متماثلة، حيث تسهل التحسينات في الحوكمة تنويع الطاقة، في حين أن الصدمات السلبية تعيق الانتقال. تدعم نتائجنا القائمة على الكميات هذا التباين، حيث تكشف أن التحسينات المؤسسية لا تسهل استهلاك الطاقة المتجددة إلا بعد أن تتجاوز جودة الحوكمة الحد الأدنى.

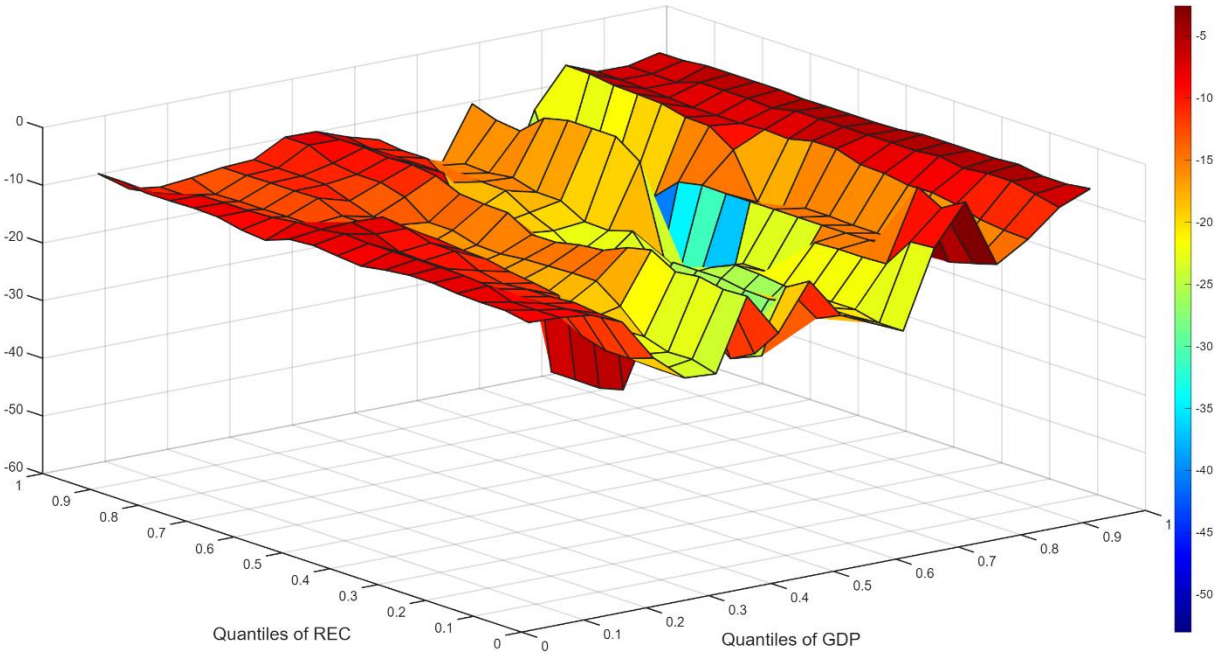
ترتبط العلاقة بين الجودة المؤسسية والطاقة المتجددة في الجزائر بقدر كبير من عدم التناسق وفقًا لنتائج تحليل QQR متعدد المتغيرات. تؤدي إصلاحات الحوكمة إلى مضاعفة استهلاك الطاقة المتجددة تقريبًا في الأنظمة المؤسسية المتوسطة والعالية. ومع ذلك، تميل المؤسسات الضعيفة إلى تعزيز الاعتماد على الهيدروكربونات وتأخير اعتماد الطاقة النظيفة .في السياق العام ، تكشف النتائج

أن الإصلاح المؤسسي يجب أن يكون عنصراً حاسماً في تحول الطاقة في الجزائر. ولإطلاق العنان لإمكانات الطاقة المتجددة، من الضروري تعزيز الأطر التنظيمية والشفافية والتنسيق بين الوكالات والاستقرار السياسي لتسهيل الاستثمارات. في الأنظمة ذات الحوكمة الضعيفة، من الضروري إجراء إصلاحات مؤسسية محددة الأهداف، حيث يمكن أن تحقق مكاسب كبيرة في مجال الطاقة المتجددة بمجرد توفر الشروط الأساسية. وبدون مؤسسات موثوقة وموارد مالية ومدخلات تكنولوجية، ستكون إمكانية تحقيق نتائج مستدامة في مجال الطاقة المتجددة ضئيلة. يؤكد ذلك أن فعالية السياسات الطاقوية في الجزائر ترتبط بشكل مباشر بجودة الحوكمة، حيث أن ضعف التنسيق المؤسسي والبيروقراطية قد يشكلان عائقًا أمام تنفيذ مشاريع الطاقة المتجددة.

6. النمو الاقتصادي (الناتج المحلي الإجمالي) واستهلاك الطاقة المتجددة

يتم تضمين النمو الاقتصادي بشكل أساسي كمتغير تحكم. ومع ذلك، فإن له علاقة غير خطية وغير متماثلة واضحة مع استهلاك الطاقة المتجددة. وهذا هو الحال في التوزيعات الشرطية. تشير سطح QQR متعدد المتغيرات إلى أن الناتج المحلي الإجمالي يؤثر على الطاقة المتجددة بشكل مختلف وفقًا لمستوى انتشار الطاقة المتجددة، مما يظهر ديناميكيات هيكلية رئيسية داخل العلاقة بين النمو والطاقة في الجزائر.

الشكل رقم22: منحنى نموذج الانحدار المتعدد (M-QQR)للنمو الاقتصادي



في الرُّبَيْعيّات الدنيا من REC (حوالي 0.1-0.4)، تكون علاقة الناتج المحلي الإجمالي سلبية أو ضعيفة. ينعكس نمط النمو في الجزائر، الذي يقوده إلى حد كبير استخراج الهيدروكربونات والأنشطة كثيفة الاستهلاك للطاقة، في هذا النظام. في ظل هذه الظروف، يعزز نمو الدخل القومي الاعتماد على الوقود الأحفوري بدلاً من استخدام الطاقة المتجددة. يؤدي النمو الاقتصادي إلى زيادة الطلب الإجمالي على الطاقة بوتيرة أسرع من قدرة الطاقة المتجددة على التوسع، مما يؤدي إلى إزاحة الاستثمار في الطاقة النظيفة.مع تحرك مؤشر الطاقة المتجددة (REC) نحو القيم المتوسطة والعليا (0.5-0.8)، تصبح العلاقة أكثر إيجابية. يشير هذا إلى تحول هيكلي

يبدأ فيه النمو الاقتصادي في تمويل الطاقة المتجددة من خلال تعزيز القدرة المالية، وزيادة الاستثمار العام، وتحسين القدرة على تحمل تكاليف التكنولوجيات النظيفة. يشير تركز القيم الإيجابية حول شريحة الناتج المحلي الإجمالي التي تتراوح بين 0.5 و0.7 إلى تأثيرات عتبة: في حين أن النمو الاقتصادي له تأثير إيجابي على استخدام الطاقة المتجددة، إلا أنه لا يؤثر إلا عندما تصل البنية التحتية المتجددة إلى مستوى أدنى من النضج.ومع ذلك، عند المستويات القصوى من ربيعيات "الناتج المحلي الإجمالي" (0.8-0.95)، تكون الآثار الهامشية ضعيفة، ولا سيما انخفاض "REC". وبدون سياسات طاقة محددة الأهداف، تتضاءل عوائد النمو. في الجزائر، لا يكفي نمو الدخل وحده لتحفيز التوسع في الطاقة المتجددة دون إصلاح مؤسسي وتعميق مالي واستراتيجية تنويع واضحة.

تتوافق هذه النتائج مع أبحاث نغوين وآخرون (2025) ودابوسي وعابد (2022) التي تظهر أن الناتج المحلي الإجمالي يشجع الطاقة المتجددة فقط بما يتجاوز العتبات الهيكلية، وأمري (2017) الذي يجد أن الطاقة المتجددة لا تساهم في النمو إلا على المدى الطويل في الاقتصادات المعتمدة على الوقود الأحفوري. تساهم نتائجنا في هذا الكم المتزايد من الأدبيات، حيث نظهر أن النمو الاقتصادي في الجزائر يدعم استهلاك الطاقة المتجددة في الأنظمة المتوسطة إلى العالية من حيث الطاقة المتجددة.

بشكل عام، يعد الناتج المحلي الإجمالي قوة مساعدة وليس عائقًا لانتقال الجزائر إلى الطاقة المتجددة. يجب أن يعزز النمو الطاقة المتجددة فقط بعد وضع الركائز المؤسسية والموارد اللازمة.

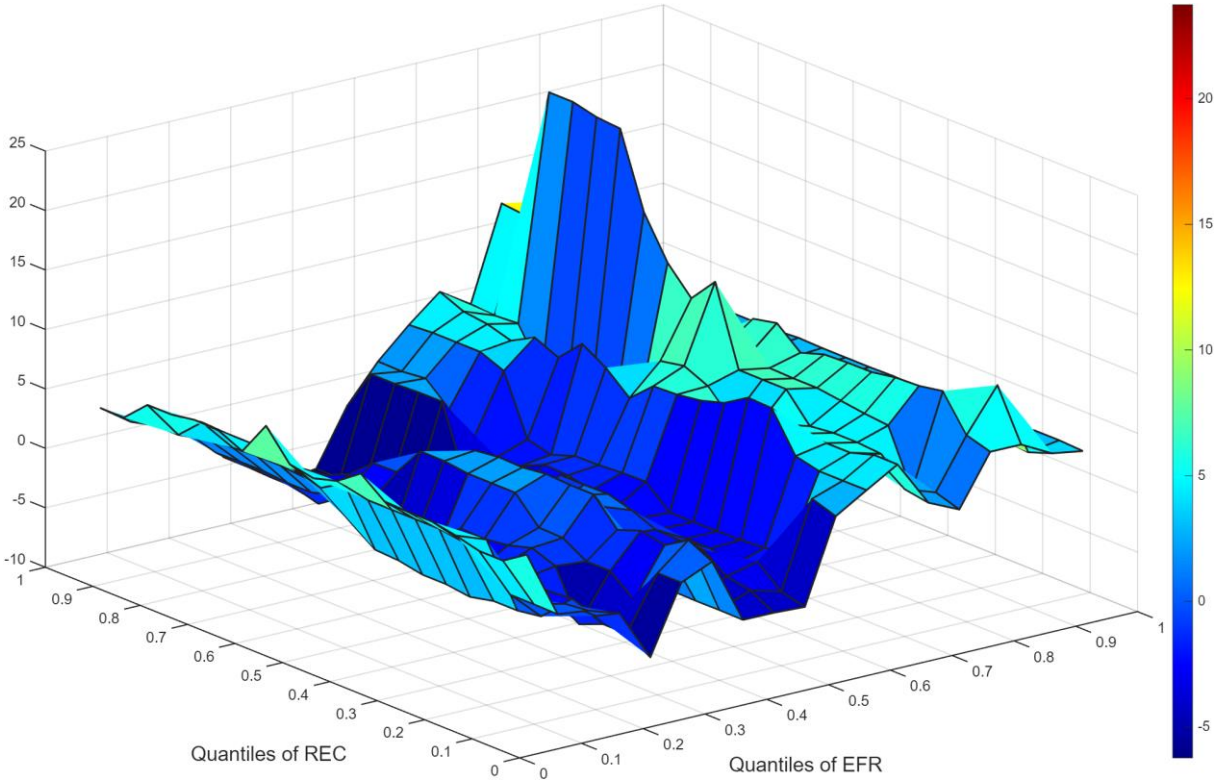
7. الحرية الاقتصادية واستهلاك الطاقة المتجددة

الحرية الاقتصادية لها آثار غير خطية وتعتمد على النظام على استهلاك الطاقة المتجددة. تبدو العلاقة عند مستويات منخفضة من EFR (0.1-0.3) سلبية أو غير ذات أهمية بشكل عام، خاصة عندما يكون REC في نطاق منخفض إلى متوسط (0.2-0.5). يعكس هذا النظام بيئات سوقية مقيدة تتميز بصرامة الأنظمة التنظيمية وضعف حقوق الملكية ومشاركة القطاع الخاص المحدودة – مما يثبط الاستثمارات ويبطئ انتشار التكنولوجيات في نظام الطاقة شديد المركزية في الجزائر.

في حالة انتقال الحرية الاقتصادية إلى الكميات المتوسطة (0.4-0.6) ودخول REC إلى أنظمة فوق المتوسطة (0.6-0.8)، تصبح العلاقة إيجابية بقوة. ويعكس ذلك الآثار الإيجابية لتحسن مناخ الاستثمار، وتقليل الحواجز أمام الدخول، وتحسين الجودة. تشير القيم القصوى المحلية التي تظهر حول شرائح EFR التي تتراوح بين 0.5 و0.7 إلى تأثير عتبة. وعلى وجه التحديد، لا يبدأ تحرير السوق في تعزيز استهلاك الطاقة المتجددة بشكل ملموس إلا عندما تصل المؤسسات إلى درجة كافية من النضج.في المناطق التي تتمتع بمستويات عالية جدًا من الحرية الاقتصادية (0.8-0.95)، تضعف الآثار الهامشية لبعض أنظمة الطاقة المتجددة المنخفضة. وهذا يعني أنه مع ارتفاع مستوى الحرية الاقتصادية، تقل الزيادة في النتائج المرجوة للطاقة المتجددة عن النسبة المتوقعة، حيث أن التحرير في غياب سياسة بيئية محددة الأهداف يمكن أن يؤدي إلى انخفاض العائدات. في السياق الجزائري، لا يمكن لفتح السوق وحده أن يضمن توسع الطاقة المتجددة ما لم يرافقه تخطيط استراتيجي للطاقة. وتتوافق النتائج مع استنتاجات محمد عثمان وفاروق (2021)، التي تظهر أن الحرية الاقتصادية تسهل الطاقة المتجددة من خلال تحسين جودة التنظيم. وبطريقة مماثلة، يظهر كور وآخرون (2025) أن الحرية الاقتصادية تسهل نشر الطاقة المتجددة إلى جانب جودة المؤسسات. وتدعم استنتاجاتنا هذه

المنظور الحدّي، حيث نظهر أن الحرية الاقتصادية، في ظل مؤسسات اقتصادية منخفضة إلى متوسطة، لها تأثير سلبي متناقض على استهلاك الطاقة المتجددة.باختصار، الحرية الاقتصادية تساعد في تهيئة الظروف وليس سببًا للطاقة المتجددة في الجزائر. يجب أن يقترن التحرير بإصلاحات الحوكمة وتدابير الاستثمار الأخضر التي تترجم انفتاح السوق إلى نتائج حقيقية في مجال الطاقة المتجددة.

الشكل رقم23: منحنى نموذج الانحدار المتعدد (M-QQR)للحرية الاقتصادية



المطلب الثاني: نتائج نموذج الانحدار الكمي المويجي(WQR)

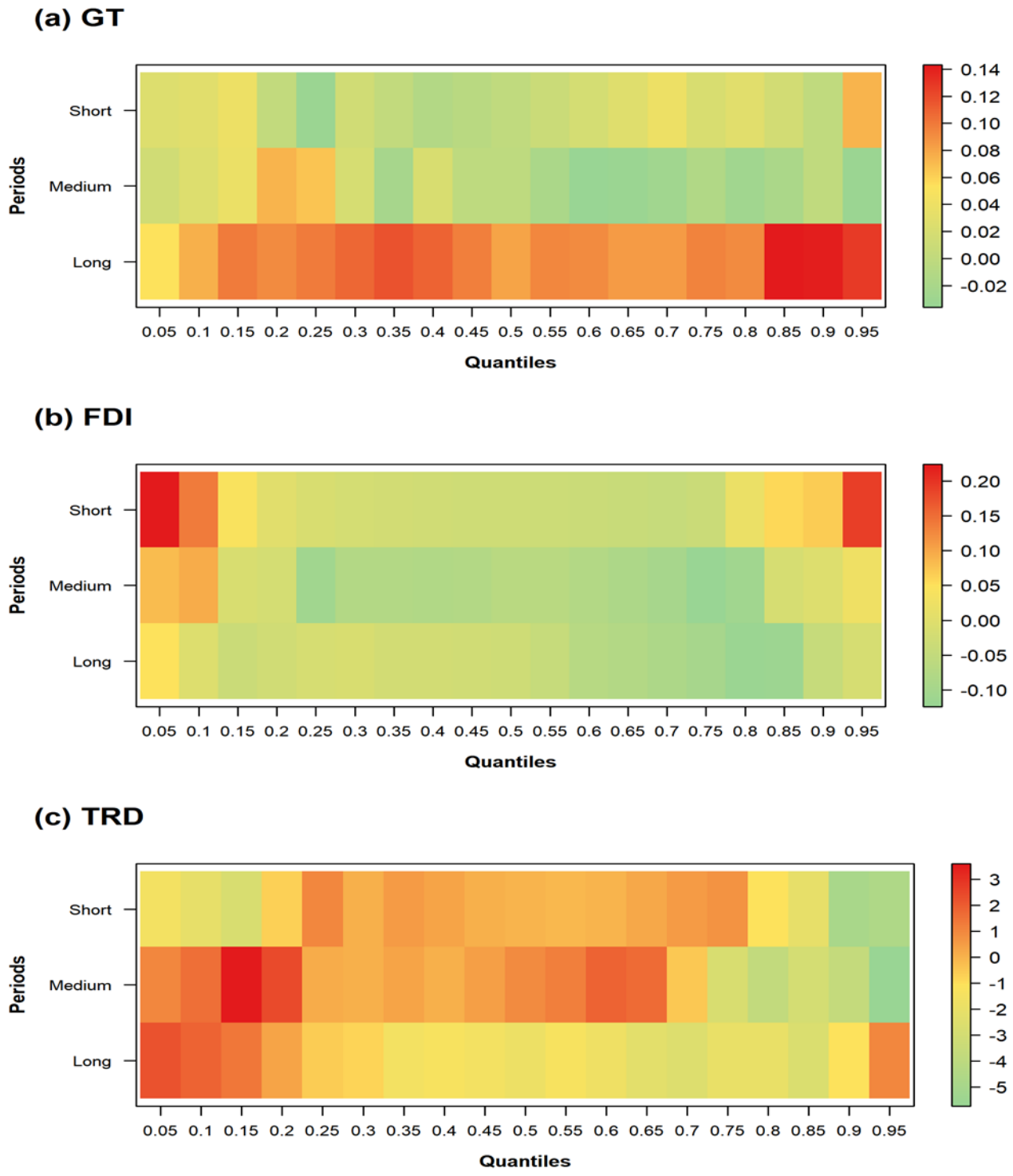
يقدم نموذج الانحدار الكمي الموجي (WQR) وصفاً شاملاً للتباين الزمني والتوزيعي الذي يميز العوامل المحددة لاستهلاك الطاقة المتجددة (REC) في الجزائر. ومن خلال تحليل العلاقات على المدى القصير والمتوسط والطويل وعبر الكميات الشرطية لـ REC، يكشف نهج WQR عن ديناميات غير خطية معقدة تخفيها النماذج الزمنية التقليدية. وتظهر النتائج أن التنمية المالية (FD)والتكنولوجيا الخضراء (GT) وانفتاح التجارة (TRD) والحرية الاقتصادية (EFR) والاستثمار الأجنبي المباشر (FDI) والنمو الاقتصادي (GDP) وجودة المؤسسات (IQ) تمارس تأثيرات تعتمد على النظام، وتختلف أحجامها واتجاهاتها بشكل كبير بمرور الوقت وعبر مستويات انتشار الطاقة المتجددة .بشكل عام، تؤكد نتائج WQR أن تحول الطاقة في الجزائر يتبع عملية متعددة المراحل وتعتمد على المسار، وتشكلها هيمنة الهيدروكربونات، والحكم المركزي، والبنية التحتية المحدودة للتمويل الأخضر، والقدرة المؤسسية المتطورة.

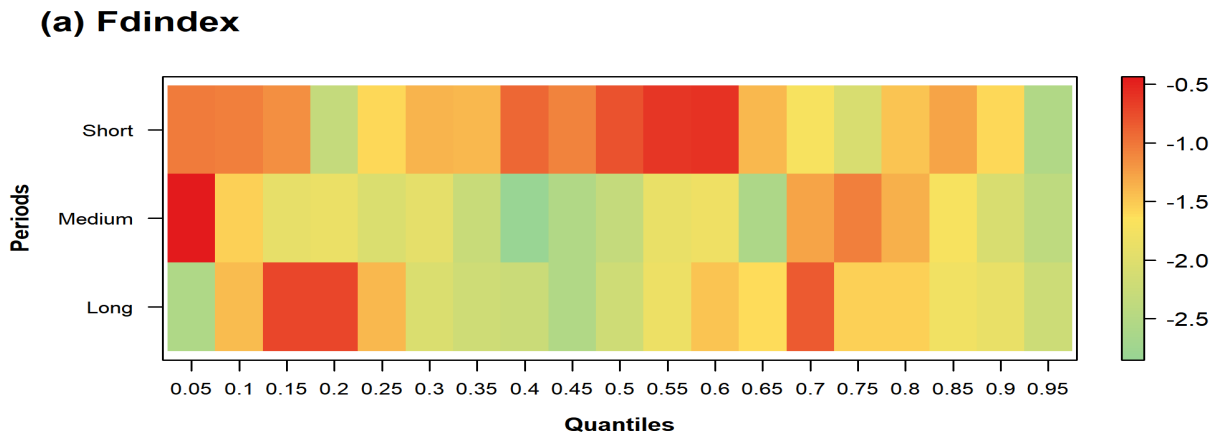
يؤثر التنوع المالي سلبًا على استهلاك الطاقة المتجددة في معظم الكميات والمقاييس الزمنية، مع تأثير كبير على المدى القصير والمتوسط في الكميات المنخفضة والمتوسطة. يشير هذا الاتجاه إلى أن الزيادات الواسعة النطاق في الموارد المالية تدعم عادةً الأنشطة الاقتصادية الأكثر تقليدية على حساب تكنولوجيا الطاقة الخضراء. تعكس الكميات العليا توهينًا محدودًا، مما يعني أن التنوع المالي أقل إلزامًا في نهاية المطاف في الاقتصادات التي تشهد بالفعل انتشارًا كبيرًا للطاقة المتجددة. يقول Pata et al. (2022) إن التعميق المالي لا يمكنه تحفيز الطاقة المتجددة في الولايات المتحدة إلا في الكميات الأعلى، وهو ما يوضح أهمية عمق الأسواق المالية. يكشف هذا الاختلاف عن إصلاحات هيكلية واضحة في آليات التخصيص المالي، مما يشير إلى أنه في غياب نماذج تمويل أخضر واضحة، قد يؤدي تعميق رأس المال إلى تثبيت استخدام الوقود الأحفوري. تتوافق هذه النتيجة مع Adebayo et al. (2025) ، الذين أظهروا أن بعض التدفقات المالية المرتبطة بالابتكار تحل محل نشر الطاقة المتجددة، مما يعزز فكرة أن التمويل غير الموجه قد يساهم في تعزيز المسارات كثيفة الكربون بدلا من دعم الانتقال الطاقوي. وهذا يعني أن التعميق المالي يجب أن يكون أخضر لتسهيل التحول إلى الطاقة النظيفة، أي أن السياسات المالية في الجزائر بحاجة إلى إعادة توجيه نحو دعم المشاريع المتجددة من خلال تطوير أدوات التمويل الأخضر وتحفيز الاستثمار فيها.

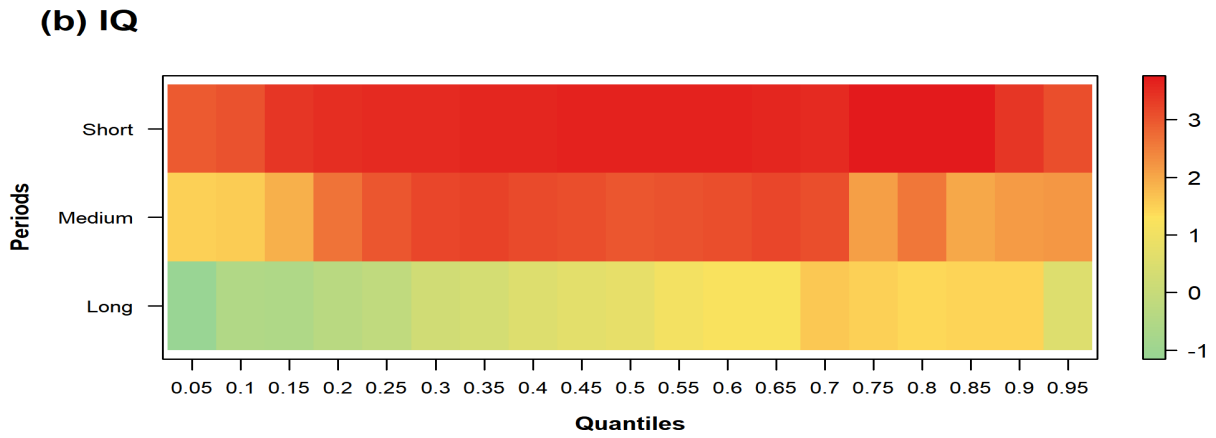
التكنولوجيا الخضراء لها آثار قصيرة المدى، ولكنها تتطور إلى عامل قوي ومستمر على المدى الطويل لاستهلاك الطاقة المتجددة، وهو عامل قوي بشكل خاص في المستويات العليا. يعكس هذا النمط الزمني التأخير في الانتشار، وآثار التعلم، وتكاليف التكيف في البنية التحتية، حيث لا يمكن ترجمة التكنولوجيا إلى استخدام واسع النطاق على الفور. وتتوافق النتائج بشكل عام مع أوزكان وآخرون (2024)، الذين أفادوا بأن أقوى الفوائد البيئية للتكنولوجيات الخضراء هي على المدى المتوسط والطويل، وحسن ولي (2024)، الذين وجدوا أن البحث والتطوير هو أحد المحركات الأكثر اتساقًا على المدى الطويل للتكنولوجيات المتعلقة بالبيئة. وعلى نفس المنوال، يدعو Wei Zhang et al. (2023) و Ngo Thai Hung (2022) إلى الاستثمار الأخضر والاندماج الرقمي كوسيلة لتحسين نتائج الاستدامة، لا سيما في الكميات المتوسطة والعليا. باختصار، تشير الأدلة إلى أن التقنيات الخضراء تعمل من خلال التعلم التراكمي ووفورات الحجم والآثار الخارجية للشبكات. ونتيجة لذلك، من المهم استمرار الاستثمار واستقرار السياسات لتعزيز فعاليتها.

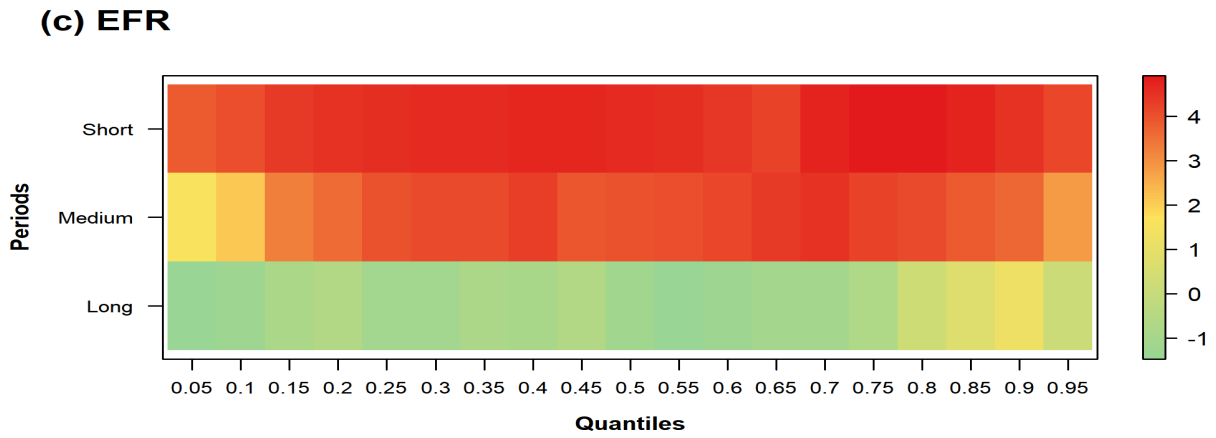
باختصار، تشير الأدلة إلى أن التقنيات الخضراء تعمل من خلال التعلم التراكمي ووفورات الحجم والآثار الخارجية للشبكات، وهو ما يعني أن تعزيز الابتكار في الجزائر يتطلب استثمارات طويلة الأجل وسياسات مستقرة تضمن استمرارية هذا التراكم المعرفي. ونتيجة لذلك، من المهم استمرار الاستثمار واستقرار السياسات لتعزيز فعاليتها، أي أن نجاح التحول الطاقوي في الجزائر يرتبط بقدرة الدولة على دعم البحث العلمي وتوجيهه نحو التطبيقات الطاقوية، إضافة إلى توفير بيئة مؤسساتية تشجع على تبني التكنولوجيا الخضراء.

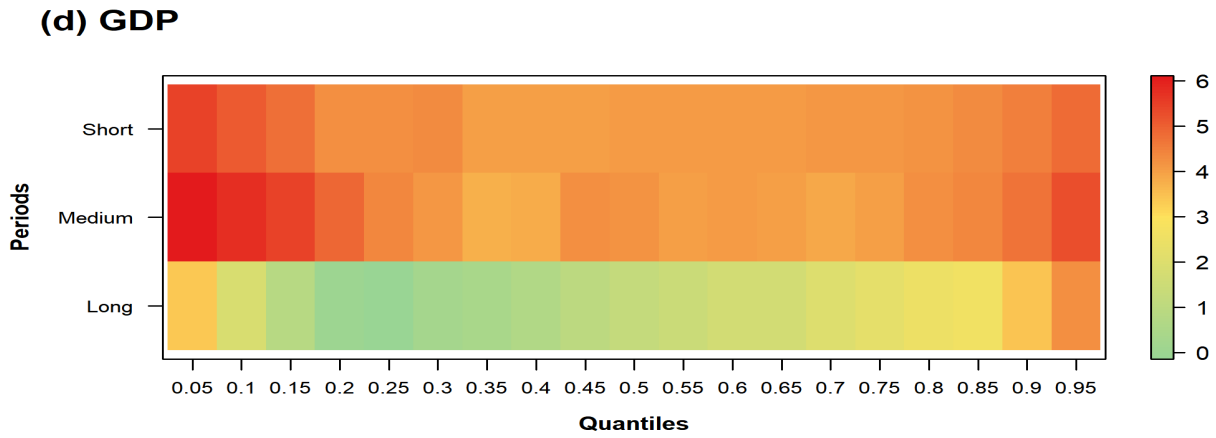
الشكل رقم24: الخرائط الحرارية لنموذج الانحدار الكمي المويجي(WQR)




(a) Fdindex
Periods
Short
Medium
Long
0.05 0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4 0.45 0.5 0.55 0.6 0.65 0.7 0.75 0.8 0.85 0.9 0.95
Quantiles
-0.5
-1.0
-1.5
-2.0
-2.5


(b) IQ
Periods
Short
Medium
Long
0.05 0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4 0.45 0.5 0.55 0.6 0.65 0.7 0.75 0.8 0.85 0.9 0.95
Quantiles
3
2
1
0
-1


(c) EFR
Periods
Short
Medium
Long
0.05 0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4 0.45 0.5 0.55 0.6 0.65 0.7 0.75 0.8 0.85 0.9 0.95
Quantiles
4
3
2
1
0
-1


(d) GDP
Periods
Short
Medium
Long
0.05 0.1 0.15 0.2 0.25 0.3 0.35 0.4 0.45 0.5 0.55 0.6 0.65 0.7 0.75 0.8 0.85 0.9 0.95
Quantiles
6
5
4
3
2
1
0

يُظهر TRD تأثيرات غير خطية كبيرة عبر النطاق الزمني والكميات. تكون التأثيرات أكثر إيجابية في الكميات المنخفضة والمراحل المبكرة من تطوير الطاقة المتجددة، مما يعكس على الأرجح نقل التكنولوجيا والوصول إلى رأس المال الأجنبي، وهو ما يعكس في الحالة الجزائرية الاستفادة الأولية من الانفتاح التجاري في استيراد المعدات والتقنيات المرتبطة بالطاقة المتجددة.

ومع ذلك، على المدى المتوسط والطويل، يصبح TRD ضارا عبر الكميات المتوسطة والعليا حيث تهيمن تأثيرات الحجم والتكوين في النهاية على تأثيرات التقنية، مما يشير إلى أن الانفتاح التجاري في الجزائر قد يؤدي إلى تعزيز الأنشطة الاقتصادية كثيفة الاستهلاك للطاقة، خاصة في ظل هيمنة قطاع المحروقات وضعف تنويع الاقتصاد.يشير هذا الاختلاف إلى أن اعتماد الطاقة المتجددة يحدث بسبب العولمة، ثم تعزز العولمة لاحقا هيكل الإنتاج كثيف الاستهلاك للطاقة في غياب الضمانات، وهو ما يبرز أهمية توجيه السياسات التجارية نحو دعم التحول الطاقوي بدل تكريس الاعتماد على الطاقات التقليدية.

تدعم هذه النتائج دراسة Wei Zhang et al. (2023) التي أشارت إلى أن التجارة يمكن أن تساعد في الاستدامة فقط عند تطبيق سياسات التمويل الأخضر، معتبرة أن السياسات التجارية الصديقة للمناخ ضرورية، وهو ما يؤكد أن فعالية الانفتاح التجاري في الجزائر تبقى مرهونة بمدى إدماج الأبعاد البيئية ضمن السياسات الاقتصادية والتجارية.

على المدى القصير والمتوسط، يكون لـ EFR تأثير إيجابي كبير وذو دلالة إحصائية في جميع القيم. وهذا يدل على انخفاض الحواجز التنظيمية، وتعزيز كفاءة السوق، وزيادة مشاركة القطاع الخاص في أسواق الطاقة المتجددة، وهو ما يعكس في الحالة الجزائرية أن تحسين مناخ الأعمال وتخفيف القيود الإدارية يمكن أن يشجع الاستثمار في مشاريع الطاقة المتجددة في المراحل الأولى من التحول الطاقوي. ومع ذلك، فإن التأثير طويل الأجل يضعف بشكل كبير، خاصة في القيم المنخفضة والمتوسطة، ويشير إلى انخفاض العائدات الهامشية للتحرير بعد وضع الأطر المؤسسية الأساسية، مما يدل على أن التحرير الاقتصادي وحده غير كاف لدعم التحول الطاقوي في الجزائر دون وجود سياسات مرافقة موجهة نحو الطاقات النظيفة.

على المدى الطويل، قد يعيد السوق الحر توجيه رأس المال إلى أعمال أكثر ربحية في مجال الوقود الأحفوري ما لم تحد منه السياسات البيئية، وهو ما يعكس طبيعة الاقتصاد الجزائري الذي لا يزال يعتمد بشكل كبير على قطاع المحروقات، مما يجعل الاستثمارات تميل نحو الأنشطة التقليدية في غياب حوافز خضراء واضحة. ويتوافق هذا النمط مع(2024) Hasan and Li ، الذي يظهر تأثيرات قوية على المدى القصير للمتغيرات المؤسسية والرقمية، والتي تصبح مشروطة على المدى الطويل، مما يؤكد أن فعالية الحرية الاقتصادية في دعم الطاقة المتجددة تبقى مرتبطة بمدى تكاملها مع سياسات بيئية وتنظيمية فعالة.

تظهر نتائج التقرير نمطا غير متماثل للغاية مع الاستثمار الاجنبي المباشر. لا تظهر الاثار الايجابية للاستثمار الاجنبي المباشر على الطاقة المتجددة الا في القيم المتطرفة في الطرفين السفلي والعلوي. وهذا يشير الى ان الاستثمار الاجنبي المباشر يساعد في المرحلة الاولية لتوليد الطاقة المتجددة في الاقتصاد، وكذلك في المرحلة المتقدمة، وهو ما يعكس في الحالة الجزائرية ان الاستثمارات الاجنبية تساهم في بناء البنية التحتية في المراحل الاولى، ثم تدعم تحسين الكفاءة والتوسع في المراحل المتقدمة من التحول الطاقوي.

يساهم راس المال الاجنبي في انشاء البنية التحتية الاساسية والتكنولوجيا وتحسين الشبكات في الاقتصادات منخفضة الطاقة المتجددة. يساعد الاستثمار الاجنبي المباشر (FDI) في الاقتصادات عالية الطاقة المتجددة على تحسين التكنولوجيا ومبادرات توسيع الطاقة النظيفة، غير ان ذلك يظل مشروطا بمدى توجيه هذه الاستثمارات نحو القطاعات الخضراء بدل القطاعات التقليدية.ومع ذلك، فان الاثار السلبية مستمرة عبر معظم القيم المتطرفة للافاق المتوسط والطويل الاجل، مما يدعم فرضية ملاذ التلوث، وهو ما يشير الى ان الجزائر قد تجذب استثمارات اجنبية موجهة نحو الانشطة كثيفة الطاقة، خاصة في غياب سياسات بيئية صارمة. على مر السنين، تحول الاستثمار الاجنبي المباشر بشكل متزايد من الطاقة المتجددة الى القطاعات كثيفة الاستهلاك للطاقة والموجهة للتصدير، مما تسبب في قيود هيكلية تعوق التحول الى الطاقة النظيفة، وهو ما يعكس استمرار هيمنة قطاع المحروقات في الاقتصاد الجزائري وتوجيه الاستثمارات نحو هذا القطاع.

يتعارض هذا الراي مع راي Wei Zhang et al. (2023) و Ngo Thai Hung (2022) ، الذين اشاروا الى وجود علاقة ايجابية بين الاستثمارات الموجهة نحو البيئة والاستدامة، مما يدل على ان الاختلاف في النتائج يعود الى طبيعة توجيه الاستثمار الاجنبي وليس حجمه فقط. لا تفيد تدفقات الاستثمار الاجنبي المباشر الاجمالية الطاقة المتجددة الا اذا تم توجيهها نحو القطاعات النظيفة، وهو ما يؤكد ضرورة تبني سياسات استثمارية انتقائية في الجزائر تشجع الاستثمارات الخضراء وتحد من الاستثمارات الملوثة. كما ان هيمنة المعاملات السلبية على المدى الطويل تتماشى مع نتائج اديبايو وآخرون (2025)، وقد وجدوا ان الابتكارات الموجهة نحو الوقود الاحفوري تحل محل استخدام الطاقة المتجددة، مما يعزز فكرة ان غياب التوجيه البيئي للاستثمار يؤدي الى تكريس المسارات كثيفة الكربون.وبالمثل، تشير نتائج الاستثمار الاجنبي المباشر الحالية الى ان تعميق راس المال دون التوافق مع المعايير الخضراء يزيد من تعميق المسارات كثيفة الكربون، مما يعني ان نجاح التحول الطاقوي في الجزائر يتطلب ادماج المعايير البيئية ضمن سياسات جذب الاستثمار الاجنبي.

يؤثر GDP بشكل إيجابي على استهلاك الطاقة المتجددة في المدى القصير والمتوسط عبر جميع الكميات، مما يعكس تأثيرات الدخل والحجم. مع توسع الاقتصاد، سيزداد الطلب على الطاقة والقدرة الشرائية والقدرة الاستثمارية، مما يسمح باستخدام الطاقة المتجددة في المراحل المبكرة والانتقالية. ومع ذلك، يتضاءل تأثير الناتج المحلي الإجمالي على المدى الطويل بشكل حاد، خاصة بالنسبة للكميات المنخفضة والمتوسطة، مما يشير إلى أن النمو وحده يصبح غير كافٍ للانتقال إلى الطاقة المتجددة. تظهر ديناميكية هذه العلاقة سلوكًا بيئيًا من نوع كوزنتس. علاوة على ذلك، لاحظ أديبايو وآخرون (2025) أن الناتج المحلي الإجمالي يدفع استهلاك الطاقة المتجددة على المدى القصير، في حين أن الاستهلاك على المدى الطويل مدفوع بالهياكل.

يظهر IQ انه عامل مهم في تحديد استهلاك الطاقة المتجددة، حيث له اثار ايجابية قوية على المدى القصير والمتوسط في جميع الشرائح تقريبا. ان تعزيز الفعالية في الحوكمة وجودة التنظيم وسيادة القانون ومساءلة الحكومة يحفز على الفور نشر الطاقة المتجددة من خلال تقليل عدم اليقين في السياسات ومخاطر الاستثمار، وهو ما يعكس في الحالة الجزائرية ان تحسين الحوكمة وتقليل البيروقراطية يمكن ان يسهم بشكل مباشر في جذب الاستثمارات نحو مشاريع الطاقة المتجددة. تتوافق الديناميكيات قصيرة المدى مع Hasan

و Li (2024) و(2022) Ngo Thai Hung ، الذين اظهروا تاثيرات مؤسسية قوية على نتائج الاستدامة، مما يؤكد ان الاطار المؤسسي يلعب دورا حاسما في المراحل الاولى من التحول الطاقوي.

يشير الوجود الايجابي للمعاملات على المدى المتوسط الى ان IQ هو احد ركائز التوسع في استخدام الطاقة المتجددة، ويحقق ذلك من خلال ضمان استمرارية السياسات واستقرار اللوائح التنظيمية، مما يفسح المجال لاستراتيجيات الطاقة طويلة الاجل، وهو ما يبرز اهمية الاستقرار المؤسسي في الجزائر لضمان استمرارية برامج الطاقة المتجددة وعدم تقطعها. ومع ذلك، تقل الاثار طويلة الاجل، خاصة في الكميات المنخفضة والمتوسطة، مما يظهر عوائد زائدة بعد عتبة الحوكمة، مما يدل على ان تحسين المؤسسات وحده لا يكفي على المدى الطويل دون دعم عوامل اخرى مثل الابتكار والتمويل. بعد تجاوز هذه المرحلة، تصبح العوامل الاخرى اكثر اهمية نسبيا، مثل كثافة الابتكار والهيكل المالي وعمق السوق، وهو ما يشير الى ان نجاح التحول الطاقوي في الجزائر يتطلب تكاملا بين الاصلاح المؤسسي والتطور التكنولوجي والمالي.

وجد Hasan و Li (2024) ان هذا نمط متكرر، كما اشارت النتائج غير المباشرة ل Pata et al. (2022) الذين ركزوا على عمق الاسواق المالية في الانظمة المتقدمة للطاقة المتجددة، مما يعزز فكرة ان دور المؤسسات يصبح تكميليا في المراحل المتقدمة مقارنة بالعوامل الهيكلية الاخرى.

تشير نتائج WQR الإجمالية إلى عملية انتقال متعددة المراحل نحو الطاقة المتجددة. يتم تحفيز التبني المبكر من خلال الذكاء المؤسسي (IQ) والقدرة الاقتصادية على الاستثمار (EFR) والناتج المحلي الإجمالي .(GDP) ثم تصبح الابتكارات التي يقودها التكنولوجيا (GT) والقدرة على التكيف (TRD) سائدة في المراحل الانتقالية. أخيرًا، على المدى الطويل، تعتمد الاستدامة على مسار القدرة التكنولوجية ومواءمة السياسات. يميل الاستثمار الأجنبي المباشر، ما لم يُذكر أنه أخضر، إلى تعزيز الهياكل كثيفة الكربون. تدعم هذه النتائج النتائج التي توصل إليها أوزكان وآخرون (2024) وأديبايو وآخرون (2025) فيما يتعلق بالتباين الكبير في التردد الزمني والتوزيع في التحولات الطاقية. بشكل عام، توضح الأدلة أن التحولات في مجال الطاقة المتجددة تتطلب أطر سياسات منسقة تدمج التمويل الأخضر والابتكار التكنولوجي طويل الأمد والتجارة الذكية مناخياً والاستثمار الأجنبي المباشر الأخضر والحكم الرشيد. من الضروري اتباع نُهج شاملة ومنسقة حتى تتلاقى مسارات التنمية الاقتصادية مع الاستدامة على المدى الطويل؛ فالإصلاحات أحادية البعد غير كافية.

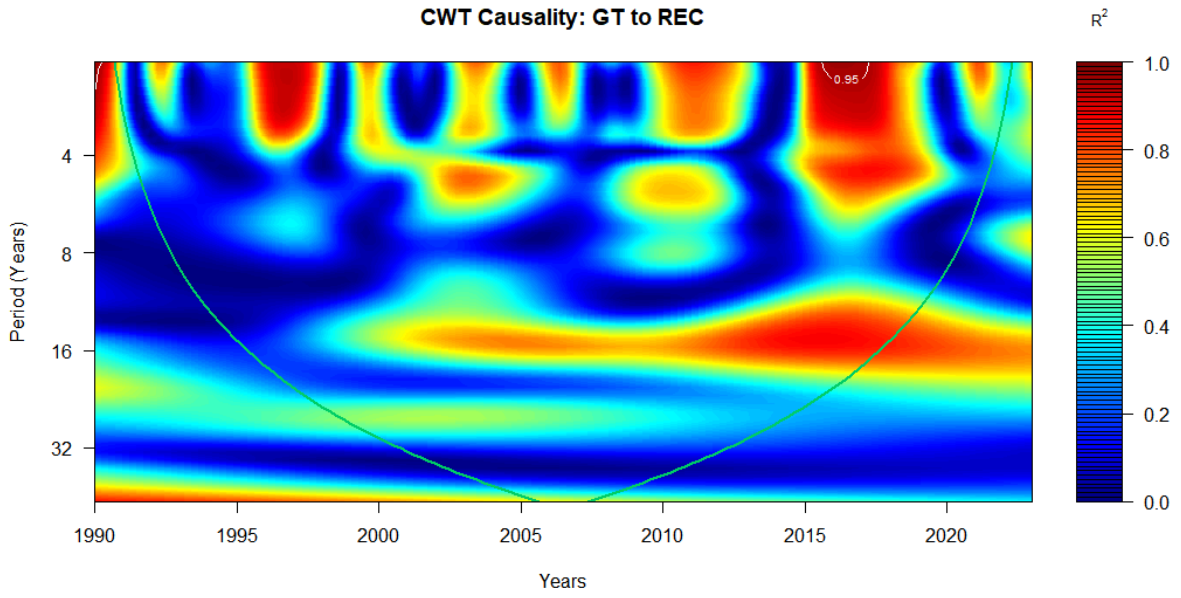
المطلب الثالث: نتائج السببية للتحويل الموجي المستمر(CWT)

تظهر نتائج السببية للتحويل الموجي المستمر (CWT) منظورا ديناميكيا للسببية بين الابتكار الاخضر (GT) والتطور المالي (FD)والجودة المؤسسية (IQ) وانفتاح التجارة (TRD) والاستثمار الاجنبي المباشر (FDI) والنمو الاقتصادي (GDP) والحرية الاقتصادية (EFR) واستهلاك الطاقة المتجددة .(REC) من خلال التمييز بين الصدمات قصيرة المدى وعمليات التكيف متوسطة المدى والعلاقات الهيكلية طويلة المدى، تلتقط علاقة السببية في CWT تطور العلاقات التنبؤية عبر الافاق

الزمنية والفترات التاريخية، وهو ما يعكس في الحالة الجزائرية تاثير التغيرات الاقتصادية وتقلبات اسعار النفط على ديناميكيات التحول الطاقوي عبر الزمن.

توفر علاقة السببية في CWT تمييزات تتجاوز النهج الثابت او التوزيعي البحت. تدعم نتائج CWT ان عدم تجانس محددات استهلاك الطاقة المتجددة يميل الى ان يكون قويا جدا عبر الترددات والزمن، مما يدل على ان العوامل المؤثرة في التحول الطاقوي في الجزائر لا تعمل بنفس الكيفية في جميع الفترات، بل تتغير حسب الظروف الاقتصادية والسياسات المعتمدة. علاوة على ذلك، فانها تضيف الى الادلة التي قدمتها WQR و M-QQR ان التحولات في الطاقة المتجددة تتبع عمليات غير خطية وتعتمد على النظام وتقودها العتبات، فهي ليست نتاجا لسبب موحد، وهو ما يؤكد ان التحول الطاقوي في الجزائر يتطلب مقاربة شاملة تأخذ بعين الاعتبار التفاعل بين مختلف المحددات الاقتصادية والمؤسسية.

الشكل رقم25: مخطط السببية باستخدام تحويل المويجات(CWT) للابتكار الأخضر



تظهر الصلة بين الابتكار الاخضر (GT) و REC تطورا واضحا في نطاقات التردد الزمني. على المدى القصير (1-4 سنوات)، تبدو السببية متقطعة، مما يشير الى ان صدمة الابتكار قد تولد احيانا استجابة متجددة فورية، وهو ما يعكس محدودية القدرة على تحويل الابتكار الى انتاج فعلي للطاقة المتجددة في الجزائر في الاجل القصير.

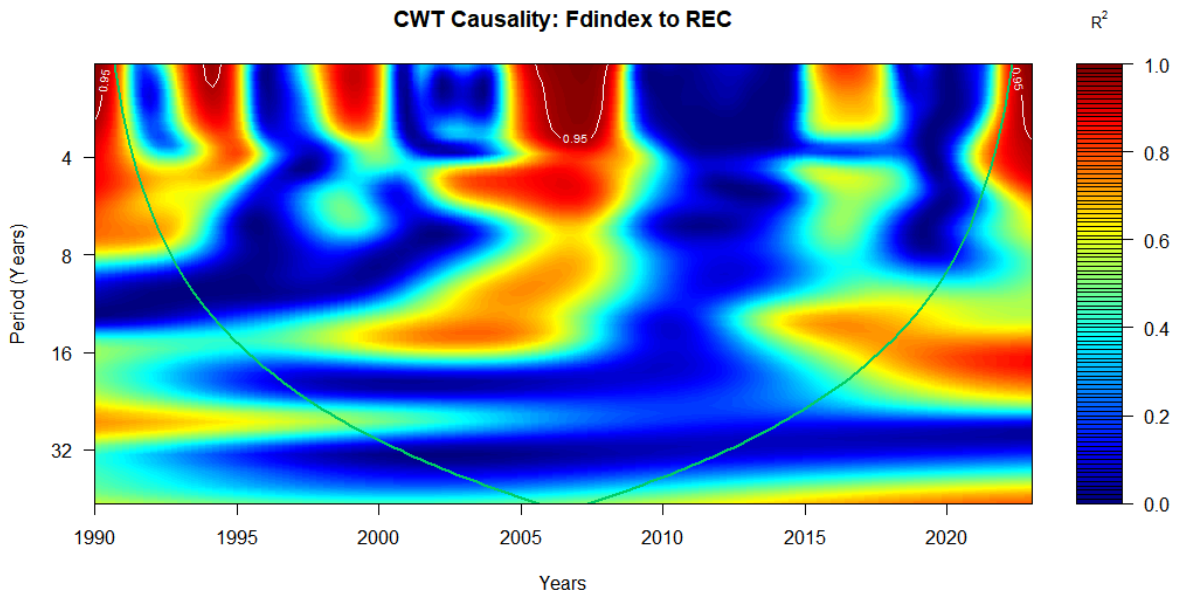
ومن المرجح ان يحدث هذا من خلال اختراقات ابتكارية خضراء قصيرة المدى مدفوعة باطار السياسة العامة او حوافز الابتكار، غير انها تبقى مؤقتة وغير مستقرة في تاثيرها، بسبب ضعف استمرارية السياسات وعدم كفاية البنية التحتية التكنولوجية. على النقيض من ذلك، فان الترددات متوسطة المدى (4-8 سنوات) لها مناطق سببية اوسع نطاقا واكثر استمرارية، مما يشير الى ان انتشار وتسويق التقنيات الخضراء ضروريان لنشر الطاقة المتجددة، وهو ما يدل على ان الاستثمار المستمر في البحث والتطوير ضروري لدعم التحول الطاقوي في الجزائر.

اما في النطاق طويل المدى (8-16 سنة)، فتظهر علاقة سببية قوية ومستمرة خاصة بعد منتصف العقد الاول من القرن الحادي والعشرين، مما يعكس ان الابتكار الاخضر يصبح عاملا هيكليا في دعم الطاقة المتجددة مع تراكم المعرفة وتحسن القدرات التقنية. ويظهر هذا النمط ان الابتكار الاخضر هو محرك هيكلي لاستهلاك الطاقة المتجددة من خلال اثار التعلم التراكمية ووفورات الحجم والتغيير التكنولوجي على نطاق النظام، وهو ما يؤكد ضرورة تبني سياسات طويلة الاجل لدعم الابتكار في الجزائر.

كما يظهر التطور المالي في الشكل رقم27 تباينا قويا في التردد الزمني. هناك علاقة سببية متقطعة وغير مستقرة على المدى القصير بين FD وREC ، مما يشير الى ان الصدمات المالية قصيرة الاجل لا تتحول مباشرة الى استثمارات في الطاقة المتجددة، وهو ما يعكس في الجزائر توجيه التمويل نحو القطاعات التقليدية بدل الطاقات النظيفة في الاجل القصير. تظهر الترددات متوسطة المدى مجموعات سببية قوية ومتسقة، خاصة خلال فترات تعميق النظام المالي وتوسع الائتمان، مما يشير الى ان الانظمة المالية تحتاج الى وقت لاعادة توجيه الموارد نحو البنى التحتية المتجددة، وهو ما يدل على ان اصلاح النظام المالي في الجزائر يعد شرطا اساسيا لدعم التحول الطاقوي.

اما في المدى الطويل، فتظهر علاقة سببية قوية ومستمرة، حيث يؤثر التعميق المالي تدريجيا على الاستثمار في الطاقة المتجددة، مما يعكس امكانية تحول النظام المالي في الجزائر نحو دعم التمويل الاخضر مع مرور الوقت. ومع ذلك، فان ضعف العلاقة في الترددات المنخفضة جدا يشير الى انخفاض العوائد الهامشية عند مستويات متقدمة من انتشار الطاقة المتجددة، مما يعني ان التمويل وحده لا يكفي، بل يجب دعمه بالابتكار والسياسات البيئية. كما تتوافق هذه النتائج مع نتائجM-QQR ، حيث يعزز التطور المالي الطاقة المتجددة قبل بلوغ مستوى معين من النضج، ثم يتراجع تاثيره، وهو ما يؤكد ان دور التمويل في الجزائر يظل مشروطا بمدى توجيهه نحو الاستثمارات الخضراء.

الشكل رقم26: مخطط السببية باستخدام تحويل المويجات(CWT) للتطوير المالي

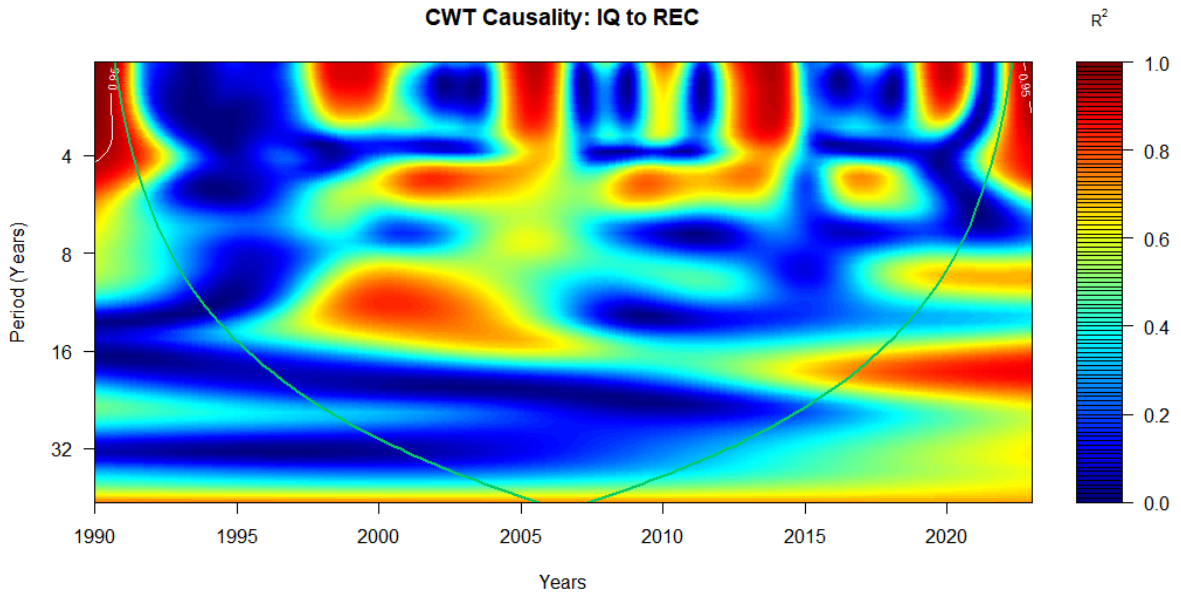


الجودة المؤسسية (IQ) هي عامل هيكلي اخر يظهر في تحليل .CWT السببية قصيرة المدى مؤقتة، مما يعني انه خلال فترات الاصلاح، تتبع حالات اصلاحات الحوكمة احيانا استجابات متجددة فورية، وهو ما يعكس في الحالة الجزائرية ان بعض الاصلاحات المؤسسية قد تؤدي الى تحسن سريع في مناخ الاستثمار الطاقوي، لكنها تبقى محدودة اذا لم تكن مستمرة.

يشير الشكل رقم28 الى ان الترددات متوسطة المدى هي السائدة وتظهر ايضا سببية اقوى واكثر استمرارية، مما يشير الى ان التحسينات المؤسسية مثل تحسين جودة التنظيم والاستقرار السياسي والقدرة على التنفيذ لا تؤثر بسهولة على سياسات الاستثمار، بل تستغرق وقتا، وهو ما يدل على ان الاصلاح المؤسسي في الجزائر يحتاج الى استمرارية وتراكم زمني حتى ينعكس بشكل فعلي على قطاع الطاقة المتجددة. على المدى الطويل، للجودة المؤسسية تاثير سببي قوي ودائم على الطاقة المتجددة، مما يشير الى ان الجودة المؤسسية اساسية للطاقة المتجددة، وهو ما يؤكد ان نجاح التحول الطاقوي في الجزائر يعتمد بشكل كبير على استقرار السياسات وفعالية الحوكمة.

تشير هذه الهيمنة على المدى الطويل الى ان الجودة المؤسسية لا تصاحب اعتماد الطاقة المتجددة فحسب، بل تحكم ايضا استدامة اعتماد الطاقة المتجددة، مما يعني ان غياب الاستقرار المؤسسي قد يعيق استمرارية مشاريع الطاقة المتجددة حتى في حال انطلاقها. تشير الارتباط السببي الاضعف مع ارتفاع التكرار الى ضعف العوائد المؤسسية الهامشية، مما يدل على ان تحسين المؤسسات بعد مستوى معين لا يعطي نفس الاثر، ويصبح من الضروري دعمها بعوامل اخرى مثل الابتكار والتطور المالي. ويتوافق ذلك مع الادلة من M-QQR التي تشير الى ان تاثيرات الحوكمة تضعف بعد المعايير العالية، وهو ما يعزز فكرة ان دور المؤسسات في الجزائر يجب ان يكون مكملا لسياسات الابتكار والتمويل وليس بديلا عنها.

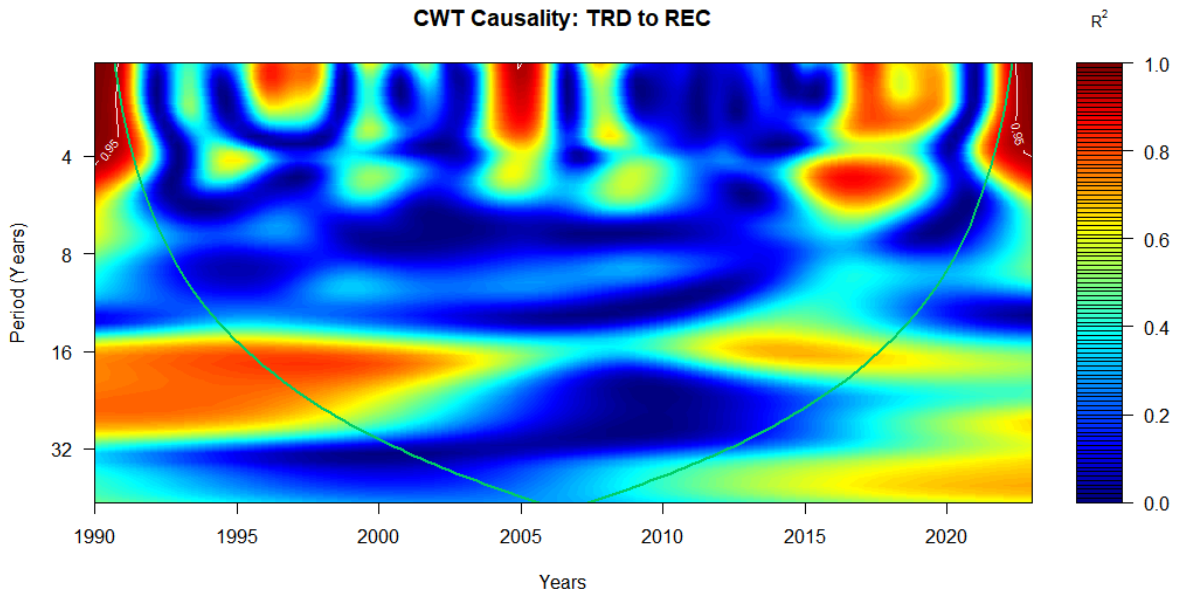
الشكل رقم27: مخطط السببية باستخدام تحويل المويجات(CWT) للجودة المؤسساتية



يظهر الشكل رقم 29 ترددات TRD بحيث تشير السببية المتقطعة قصيرة المدى الى ان فترات تحرير التجارة او الارتفاعات المفاجئة في واردات المعدات المتجددة يمكن ان تحفز REC ، وهو ما يعكس في الحالة الجزائرية الاستفادة المؤقتة من استيراد التكنولوجيا والمعدات المرتبطة بالطاقة المتجددة في الاجل القصير .على الرغم من ذلك، تظل العلاقة السببية على المدى المتوسط ضعيفة وغير مستقرة، مما يشير الى ان انفتاح التجارة لا يخلق دورة استثمارية للطاقة المتجددة، وهو ما يدل على غياب تكامل فعلي بين التجارة الخارجية والسياسات الصناعية في الجزائر لدعم الطاقات المتجددة.

تكون العلاقة السببية اقوى في النطاق الترددي طويل المدى، مما يشير الى ان TRD قد تؤثر على استهلاك الطاقة المتجددة من خلال قنوات هيكلية بطيئة الحركة، مثل انتشار التكنولوجيا والمشاركة في سلسلة القيمة الخضراء العالمية والتحولات طويلة المدى في هيكل الانتاج، وهو ما يعني ان الاستفادة الحقيقية من الانفتاح التجاري في الجزائر تتطلب استراتيجيات طويلة الاجل لادماج الاقتصاد في سلاسل القيمة الخضراء. تتداخل فترات ضعف السببية مع الاضطرابات الاقتصادية العالمية، مما يشير الى توقف المسارات المتجددة المدفوعة بالتجارة بسبب الصدمات الخارجية، وهو ما يعكس حساسية الاقتصاد الجزائري للتقلبات الخارجية خاصة المرتبطة باسعار النفط والتجارة الدولية. تدعم النتائج استنتاجات M-QQR بان TRD يعزز بشكل اساسي REC في الانظمة المتوسطة ولكنه يضعف او ينعكس في الانظمة المتطرفة، مما يؤكد ان تأثير التجارة في الجزائر يبقى مشروطا بمرحلة تطور قطاع الطاقة المتجددة وهيكل الاقتصاد.

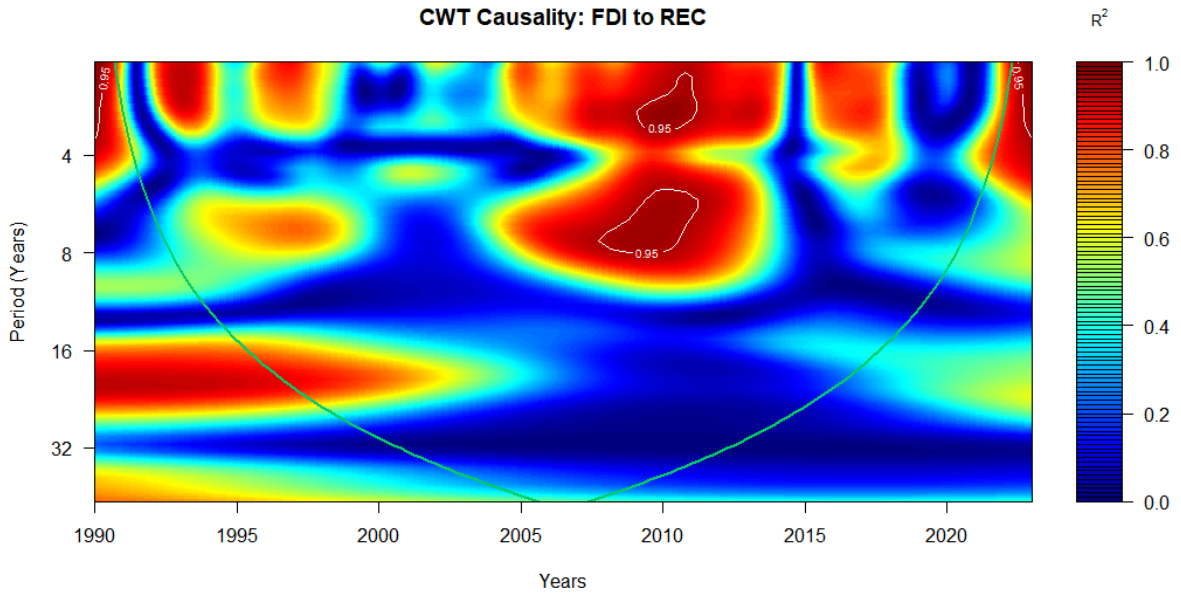
الشكل رقم28: مخطط السببية باستخدام تحويل الموجات(CWT) للانفتاح التجاري



يظهر الاستثمار الاجنبي المباشر (FDI) احد انماط السببية الاكثر عدم تناسقا وانتقالية. يبدو ان هناك حالات من السببية قصيرة المدى تشكل استجابة مؤقتة للطاقة المتجددة لطفرات الاستثمار، وهو ما يعكس في الجزائر دخول استثمارات ظرفية قد تدعم مشاريع الطاقة المتجددة بشكل محدود دون استمرارية.

تظهر التكرارات متوسطة المدى سببية اقوى، خاصة في فترات تدفقات الاستثمار الاجنبي المباشر المعتدلة، مما يعني ان راس المال الاجنبي يؤثر على نشر الطاقة المتجددة عبر قنوات تاخير في انتشار التكنولوجيا وتراكم راس المال، وهو ما يدل على ان تأثير الاستثمار الاجنبي في الجزائر يحتاج الى وقت حتى يترجم الى نتائج فعلية في قطاع الطاقة المتجددة. ومع ذلك، فان السببية الضعيفة وغير المستقرة على المدى الطويل للاستثمار الاجنبي المباشر على الطاقة المتجددة تعني ان الاستثمار الاجنبي لا يعمل كمحفز هيكلي مستدام لانتقال الطاقة المتجددة، وهو ما يعكس استمرار توجيه هذه الاستثمارات نحو القطاعات التقليدية خاصة قطاع المحروقات. يتوافق هذا التخفيف من الاثار طويلة الاجل مع الحجج التي تدعم ملاذات التلوث والتركيز القطاعي، حيث ينجذب الاستثمار الاجنبي المباشر بمرور الوقت نحو القطاعات كثيفة الاستهلاك للطاقة، مما يبرز ضرورة تبني سياسات صارمة في الجزائر لتوجيه الاستثمار الاجنبي نحو القطاعات النظيفة. وبالنظر الى نتائج M-QQR ، تشير منحنيات CWT بقوة الى ان الاستثمار الاجنبي المباشر سيعزز الطاقة المتجددة فقط في الانظمة المتوسطة، مما يدل على ان فعاليته في الجزائر تبقى محدودة ومشروطة بمستوى تطور القطاع الطاقوي. وبالمثل، قد يعيق الاستثمار الاجنبي المباشر التحولات المتجددة ذات المستوى الاستثماري المنخفض او المرتفع، مما يؤكد ان غياب التوجيه البيئي للاستثمار يمكن ان يساهم في تكريس المسارات كثيفة الكربون بدل دعم الانتقال الطاقوي.

الشكل رقم29: مخطط السببية باستخدام تحويل المويجات(CWT) للاستثمار الأجنبي المباشر

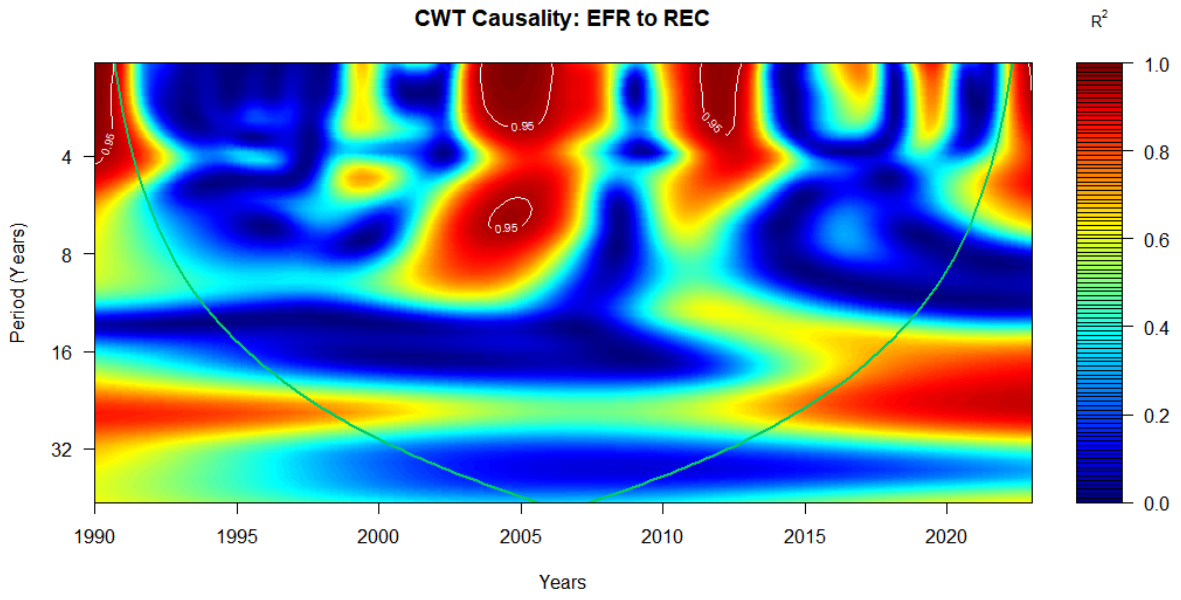


استنادًا إلى نتائج دراسة، فإن النمو الاقتصادي (الناتج المحلي الإجمالي) الذي سيتم تضمينه كمتغير تحكم له علاقة سببية ضعيفة على المدى القصير والمتوسط. وهذا يعني أن التأثير قصير المدى لتقلبات النمو لا يدفع استهلاك الطاقة المتجددة بطريقة منهجية. ولا تظهر أدلة على وجود علاقة سببية أقوى إلا في النطاق الترددي طويل المدى. وهذا يشير إلى أن التنمية الاقتصادية تدعم، بمرور الوقت، نشر الطاقة المتجددة. يوسع التنمية الاقتصادية من القدرات المالية والبنية التحتية وإمكانات الاستثمار. ومع ذلك، فإن ضعف العلاقة السببية على المدى الطويل جدًا يشير إلى انخفاض الإنتاجية الحدية للنمو، مما يشير إلى أن الناتج المحلي الإجمالي وحده

قد يكون غير كافٍ لدعم التحول إلى الطاقة المتجددة دون أطر سياسية تكميلية. تتوافق أدلة M-QQR التي تشير إلى أن الناتج المحلي الإجمالي يدعم شهادات الطاقة المتجددة فقط في نظام الطاقة المتجددة المتوسط إلى العالي تمامًا مع هذه النتيجة.

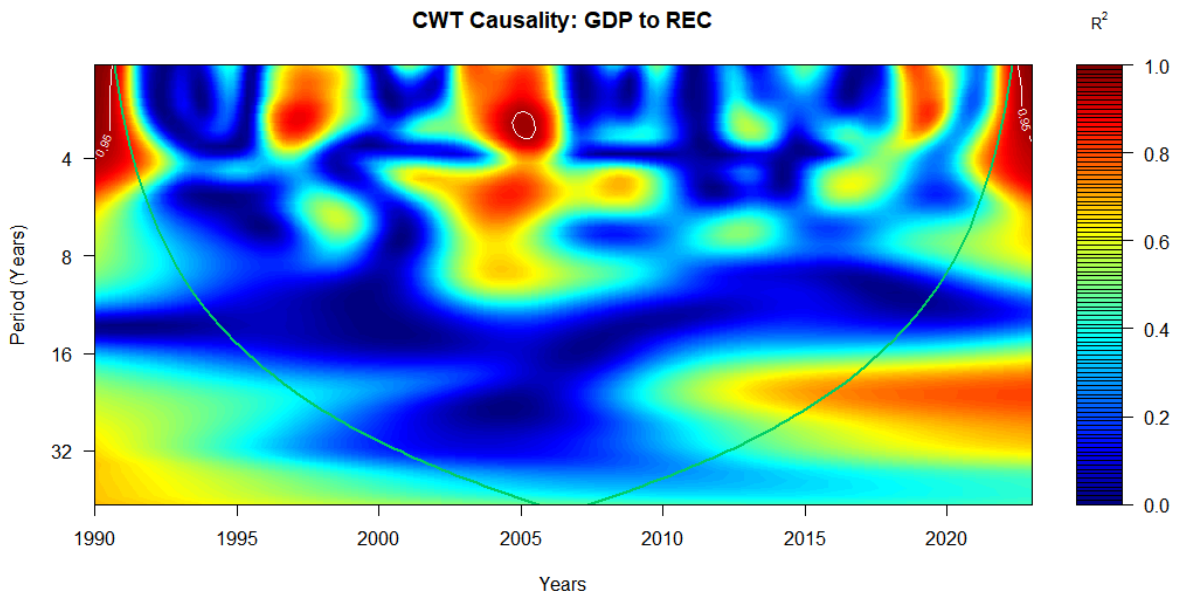
تتمتع الحرية الاقتصادية(EFR) ، التي تعتبر أيضًا متغيرًا تحكميًا، بخصائص سببية أقوى نسبيًا. السببية على المدى القصير أكثر شيوعًا من الناتج المحلي الإجمالي. وهذا يعكس الإصلاحات الموجهة نحو السوق التي لها تأثيرات فورية على حوافز الاستثمار في الطاقة المتجددة. تظهر الترددات المتوسطة المدى أن استهلاك الطاقة المتجددة يؤدي إلى مجموعات سببية متماسكة وقوية. وهي تسلط الضوء على أن تحسين جودة التنظيم وحقوق الملكية وكفاءة السوق يتيح مشاركة أكبر للقطاع الخاص. على المدى الطويل، تكون السببية مستقرة، مما يبرز أن الحرية الاقتصادية تعمل كمحفز هيكلي للتحول إلى الطاقة المتجددة من خلال دمج الطاقة المتجددة في أنظمة السوق التنافسية. يشير التأثير الضعيف على المسافات البعيدة إلى فائدة هامشية بمجرد وصول مؤسسات السوق إلى مرحلة متقدمة، بما يتماشى مع سلوك عتبة.M-QQR

الشكل رقم30: مخطط السببية باستخدام تحويل المويجات(CWT) للحرية الاقتصادية



يجد تقييم السببية CWT تسلسلاً هرمياً واضحاً للعوامل المحركة عبر الأفق الزمني، عند النظر إليها مجتمعة. يتم استخدام الطاقة المتجددة مدفوعًا بعوامل هيكلية طويلة الأجل مثل الابتكار الأخضر والتطور المالي وجودة المؤسسات. الانفتاح على التجارة له تأثير هيكلي طويل الأمد على الطاقة المتجددة. الاستثمار الأجنبي المباشر له تأثير متوسط الأجل فقط على الطاقة المتجددة وهو أيضًا مشروط للغاية. يوفر النمو الاقتصادي والحرية الاقتصادية سياقات مواتية: يؤثر الناتج المحلي الإجمالي على الطاقة المتجددة بشكل أساسي على المدى الطويل؛ بينما يؤثر EFR بشكل أساسي على المدى المتوسط والطويل، ويؤثر بشكل أقوى من خلال آليات السوق.

الشكل رقم31: مخطط السببية باستخدام تحويل المويجات(CWT) للنمو الاقتصادي



ومن المهم أن نتائج CWT تدعم وتكمل نتائج WQR و M-QQR بشكل قوي للغاية. على الرغم من أن النهج القائم على الكميات يكشف عن عدم التماثل في التوزيع إلى جانب الاعتماد على النظام، فإن تحليل السببية الموجية يظهر أن هذه الآثار غير المتماثلة هي أيضاً مرتبطة بالزمن. تظهر بعض الترددات أن تلك المتغيرات التي تبدو ضعيفة أو سلبية في بعض أنظمة الكميات تظهر سببية متأخرة زمنياً ومستمرة بسبب العملية غير الخطية متعددة المراحل لانتقال الطاقة المتجددة.

باختصار، يوضح دليل السببية CWT أن استهلاك الطاقة المتجددة هو ظاهرة معقدة تتأثر بالتفاعل بين الابتكار والتمويل والمؤسسات والتجارة والظروف الاقتصادية الكلية عبر أطر زمنية مختلفة. وبالتالي، يجب أن تتبنى السياسات التي تهدف إلى تسريع التحول إلى الطاقة المتجددة نظرة طويلة الأمد. ومن المنطقي أن نتوقع أن العوامل الهيكلية الدافعة، مثل التقنيات أو الأنشطة مثل الابتكار الأخضر والنضج المالي وجودة المؤسسات، تستغرق وقتًا أطول لتؤتي ثمارها. وبالتالي، لن تكون الصدمة قصيرة الأجل وحدها كافية لتوليد زيادة مستدامة في مصادر الطاقة المتجددة.

المطلب الرابع: مناقشة النتائج في إطار فروضها

تُظهر النتائج التجريبية المستخلصة من نماذج الانحدار الكمي متعدد المتغيرات(M-QQR) ، والانحدار الكمي الموجي (WQR)، وتحليل السببية باستخدام تحويل المويجات المستمر (CWT) أن استهلاك الطاقة المتجددة في الجزائر لا يتحدد بعامل منفرد، بل يعكس تفاعلًا معقدًا ومتعدد الأبعاد بين العوامل الاقتصادية الكلية، والمالية، والمؤسسية، والتكنولوجية ضمن منظومة ديناميكية مترابطة. ويبرز هذا التكامل المنهجي بين النماذج الثلاثة أن التحول الطاقوي في الجزائر ليس عملية خطية أو آنية، بل مسار هيكلي تراكمي يعتمد على العتبات الحرجة والتطور التدريجي في القدرات الاقتصادية والمؤسسية.

فعلى مستوى نموذجM-QQR ، تُظهر المنحنيات ثلاثية الأبعاد المقدّرة كما في الأشكال (17 إلى 23) وجود علاقات غير خطية وغير متماثلة بشكل واضح بين المتغيرات المفسرة واستهلاك الطاقة المتجددة، حيث تختلف إشارة وقوة التأثير باختلاف الكميات. وتكشف هذه النتائج أن تأثير المحددات ليس ثابتًا، بل يعتمد بشكل كبير على مستوى انتشار الطاقة المتجددة ذاته، وهو ما يعكس وجود تأثيرات عتبة (Threshold effects) . فعلى سبيل المثال، تُظهر النتائج الخاصة بالتكنولوجيا الخضراء (الشكل 17) أن العلاقة تكون سلبية أو ضعيفة في الكميات الدنيا، ثم تتحول إلى إيجابية قوية في الكميات المتوسطة والعليا، وهو ما يدل على أن الابتكار لا يترجم إلى استخدام فعلي للطاقة المتجددة إلا بعد بلوغ مستوى معين من النضج التكنولوجي. وينطبق نفس المنطق على التنمية المالية (الشكل 18) والانفتاح التجاري (الشكل 20) وجودة المؤسسات (الشكل 21)، حيث لا تبدأ الآثار الإيجابية في الظهور إلا بعد تجاوز حدود هيكلية معينة.

وتتعمق هذه النتائج من خلال تحليلWQR ، حيث تُظهر الخرائط الحرارية في الشكل (24) أن تأثيرات المحددات تختلف بشكل كبير عبر الأفق الزمني، إذ تتسم التأثيرات قصيرة الأجل بالتقلب وعدم الاستقرار، بينما تصبح أكثر تماسكًا واستقرارًا في المدى المتوسط والطويل. فعلى سبيل المثال، يتضح أن تأثير التكنولوجيا الخضراء يكون محدودًا في الأجل القصير، لكنه يصبح قويًا ومستدامًا في الأجل الطويل، مما يعكس وجود فجوة زمنية بين الابتكار وتطبيقاته العملية. كما تُظهر نتائج WQR أن بعض العوامل، مثل التنمية المالية والانفتاح التجاري، قد يكون لها تأثير سلبي في المدى القصير نتيجة توجيه الموارد نحو الأنشطة التقليدية، قبل أن تتحول تدريجيًا إلى عوامل داعمة للطاقة المتجددة عند توفر شروط مؤسسية وتنظيمية مناسبة.

أما تحليل السببية باستخدامCWT ، كما في الأشكال (26 إلى 30)، فيوفر بعدًا إضافيًا من خلال الكشف عن ديناميكيات السببية عبر الزمن والتردد. وتُظهر النتائج أن العلاقات السببية قصيرة الأجل تكون متقطعة وغير مستقرة، في حين تصبح أكثر وضوحًا واستمرارية في المدى الطويل، خاصة فيما يتعلق بالتكنولوجيا الخضراء (الشكل 26) وجودة المؤسسات (الشكل 28)، حيث تظهر علاقات سببية قوية ومستدامة في الترددات المنخفضة، مما يؤكد الطابع الهيكلي لهذه العوامل. وفي المقابل، يظهر الاستثمار الأجنبي المباشر (الشكل 30) سببية ضعيفة وغير مستقرة على المدى الطويل، وهو ما يعكس محدودية دوره في دعم التحول الطاقوي في ظل تركّزه في القطاعات الاستخراجية.

وفي هذا السياق، تقدم هذه النتائج دعمًا قويًا للفرضية الأولى، إذ تؤكد وجود علاقة تفاعلية بين العوامل الاقتصادية الكلية والمالية ومستوى التحول نحو الطاقة المتجددة. ويتجلى ذلك بوضوح في الأنماط غير الخطية التي يكشف عنها نموذجM-QQR ، وفي التباين الزمني الذي توثقه نتائج WQR وCWT، مما يدل على أن هذه العلاقة ليست مباشرة أو خطية، بل مشروطة بتفاعل هذه العوامل ضمن بيئة هيكلية محددة. أما الفرضية الثانية، فتتجلى بشكل واضح من خلال الدور المحوري للتكنولوجيا الخضراء وجودة المؤسسات، حيث تُظهر نتائج M-QQR (الشكلان 17 و21) أن تأثيرهما يصبح إيجابيًا وقويًا في الكميات المتوسطة والعليا، بينما تؤكد نتائج WQR أن هذا التأثير يتعزز في المدى المتوسط والطويل. كما تدعم نتائج CWT هذه الخلاصة، حيث تُظهر علاقات سببية طويلة الأجل ومستقرة لهذه المتغيرات، مما يشير إلى أن الابتكار المؤسسي والتكنولوجي يمثلان محركات هيكلية أساسية للتحول الطاقوي، لكن تأثيرهما يتطلب تراكمًا زمنيًا واستمرارية في السياسات.

وفيما يتعلق بالفرضية الثالثة، فإن النتائج تؤكد بشكل واضح الطبيعة غير الخطية والمتغيرة زمنيًا للعلاقات المدروسة. حيث يُظهر نموذج M-QQR اختلاف التأثيرات عبر الكميات، بينما يكشف WQR عن تباينها عبر الزمن، ويؤكد CWT أن هذه العلاقات السببية تتطور تدريجيًا. فعلى سبيل المثال، يُظهر الانفتاح التجاري تأثيرًا إيجابيًا في الكميات المتوسطة (الشكل 20)، لكنه يصبح سلبيًا في الكميات العليا، كما يتغير تأثيره عبر الزمن من إيجابي في المدى القصير إلى سلبي في المدى الطويل، وهو ما يعكس تداخل تأثيرات الحجم والتركيب. وهذا يبرهن على أن تحليل التحول الطاقوي يتطلب مقاربة ديناميكية تأخذ بعين الاعتبار كل من البعد التوزيعي والزمني.

ومن جهة أخرى، تكشف النتائج أن بعض العوامل مثل التنمية المالية والاستثمار الأجنبي المباشر والانفتاح التجاري لا تعمل كمحركات مستقلة، بل كعوامل مشروطة بالإطار المؤسسي. حيث تُظهر النتائج أن هذه المتغيرات قد تعزز الأنشطة كثيفة الكربون في المراحل المبكرة، كما هو واضح في الأشكال (18 و19 و20)، قبل أن تتحول إلى عوامل داعمة للطاقة المتجددة عند توفر شروط معينة مثل جودة المؤسسات أو توجيه السياسات. ويعكس ذلك أهمية التكامل بين السياسات الاقتصادية والبيئية، حيث لا يمكن لهذه العوامل أن تساهم في التحول الطاقوي بشكل فعّال دون إطار تنظيمي واضح.

كما يتضح أن النمو الاقتصادي والحرية الاقتصادية يلعبان دورًا تمكينيًا أكثر من كونهما محركات مباشرة، حيث تُظهر النتائج أن تأثيرهما يصبح إيجابيًا فقط عند توفر بنية تحتية مؤسسية وتكنولوجية داعمة. ويؤكد ذلك أن النمو الاقتصادي في حد ذاته لا يكفي لتحقيق التحول الطاقوي، بل يجب أن يُرافق بسياسات موجهة نحو الاستدامة.

وفي المجمل، تؤكد هذه النتائج بشكل متكامل صحة الفرضيات الثلاث للدراسة، مع تقديم فهم أعمق لطبيعة العلاقات بين المحددات المختلفة. فالفرضية الأولى تثبت من خلال الترابط التفاعلي بين المتغيرات، والفرضية الثانية تتجلى في الدور الهيكلي طويل الأجل للتكنولوجيا والمؤسسات، أما الفرضية الثالثة فتنعكس في الطبيعة غير الخطية والمتغيرة زمنيًا لهذه العلاقات. وبذلك، يتبين أن التحول نحو الطاقة المتجددة في الجزائر هو عملية معقدة ومتعددة المراحل، تتطلب تنسيقًا فعالًا بين الابتكار التكنولوجي، والإصلاح المؤسسي، وتوجيه التمويل، ضمن إطار استراتيجي طويل الأجل.

خلاصة الفصل

تناول هذا الفصل دراسة محددات التحول الطاقوي في الجزائر باستخدام إطار قياسي اقتصادي متعدد المقاييس وغير خطي. ونظرا لاعتماد الجزائر الهيكلي على المحروقات والتزامها المتزايد بتنمية الطاقة المتجددة، تهدف الدراسة إلى الكشف عن كيفية تأثير الابتكارات الخضراء وكذلك التنمية المالية والجودة المؤسسية والانفتاح التجاري والاستثمار الأجنبي المباشر والنمو الاقتصادي والحرية الاقتصادية على الطاقة المتجددة في الجزائر.

ومن خلال تطبيق الانحدار الكمي على الكمي المتعدد المتغيرات، والانحدار الكمي الموجي، وسببية تحويل الموجات المستمر، كشف الفصل عن الطبيعة غير الخطية وغير المتماثلة والمتغيرة مع الزمن للعوامل الحاكمة لاستهلاك الطاقة المتجددة في الجزائر. وتكشف النتائج أن معظم المحددات لها تأثير ضعيف، أو حتى سلبي، عند مستويات منخفضة من تغلغل الطاقة المتجددة، مع حدوث تأثيرات إيجابية فقط خارج العتبات الهيكلية الحرجة. إن العوامل المحركة على المدى الطويل هي الابتكار الأخضر والجودة المؤسسية. إن التنمية المالية تساعد على توفير الطاقة المتجددة فقط في ظل ظروف نضج معينة. إن العلاقة بين الانفتاح التجاري والاستثمار الأجنبي المباشر مشروطة بالنظام وتعتمد عليه، في حين يلعب النمو الاقتصادي والحرية الاقتصادية بشكل رئيسي كعوامل تمكين.

ويبين تحليل التردد الزمني أن التأثيرات قصيرة المدى غير مستقرة في الغالب بينما تكشف الآفاق المتوسطة والطويلة المدى عن روابط هيكلية أكثر ثباتًا. وتظهر نتائج السببية أن التحول إلى الطاقة المتجددة في الجزائر سيكون عملية تدريجية ومتعددة المراحل مدفوعة بتراكم التكنولوجيا وتحسين المؤسسات وإعادة تخصيص التمويل وليس صدمة فورية للاقتصاد. وفي نهاية المطاف، يخلص الفصل إلى أن تطوير الطاقة المتجددة هو عملية تحول هيكلي مدفوعة بتفاعل القوى الاقتصادية والمؤسسية والتكنولوجية. وتشير النتائج إلى فعالية الطاقة المتجددة كاستجابة للنمو الاقتصادي المستدام والاستقرار البيئي، مما يوفر المزيد من الفرص للتحسين المستدام.

الخاتمة العامة

تهدف هذه الأطروحة إلى تحليل محددات التحول الطاقوي في الجزائر، من خلال دراسة دور العوامل الاقتصادية الكلية، والمالية، والمؤسسية، والتكنولوجية في تفسير تطور استهلاك الطاقة المتجددة، وذلك في سياق اقتصادي يتسم بالاعتماد الهيكلي على قطاع المحروقات. وقد انطلقت الدراسة من إشكالية مفادها أن الانتقال نحو الطاقات المتجددة لا يتم بشكل خطي أو متجانس، بل يخضع لتفاعلات معقدة تختلف باختلاف مستويات التحول والفترات الزمنية. ولمعالجة هذه الإشكالية، تم اعتماد منهج كمي تحليلي قائم على نماذج ديناميكية غير خطية، من خلال توظيف الانحدار الكمي متعدد المتغيرات، والانحدار الكمي الموجي، وتحليل السببية باستخدام تحويل المويجات المستمر، بما أتاح فهماً معمقًا للتباينات التوزيعية والديناميكيات الزمنية والعلاقات السببية التي لا يمكن للنماذج التقليدية التقاطها .

أظهرت نتائج الدراسة أن التحول نحو الطاقة المتجددة في الجزائر هو عملية تدريجية ذات طابع هيكلي، حيث تتباين استجابة المحددات باختلاف مستوى انتشار الطاقة المتجددة. فخلال المراحل الأولى، تكون تأثيرات العديد من العوامل محدودة أو غير فعّالة، في حين تبدأ بالتحول إلى عوامل داعمة مع تحسن الشروط التكنولوجية والمؤسسية والمالية. كما بينت النتائج أن تأثيرات المحددات تختلف عبر الزمن، حيث تتسم الديناميكيات قصيرة الأجل بعدم الاستقرار، مقابل تزايد وضوح واستمرارية التأثيرات في الآفاق الزمنية الأطول، مما يعكس طبيعة التحول الطاقوي كمسار تراكمي يتطلب وقتًا وتنسيقًا بين عدة عوامل.

كما أظهرت الدراسة أن المحددات لا تساهم بنفس الدرجة في دفع التحول الطاقوي، حيث يمكن ترتيبها حسب أهميتها النسبية كما يلي :الابتكار في التكنولوجيا الخضراء باعتباره المحرك الأساسي للتحول، يليه جودة المؤسسات لما تلعبه من دور في تحسين بيئة الاستثمار وتقليل عدم اليقين، ثم التنمية المالية التي يظل تأثيرها مرتبطًا بمدى توجيهها نحو الأنشطة المستدامة، وأخيرًا الانفتاح التجاري والاستثمار الأجنبي المباشر اللذان يبقيان عاملين مشروطين يعتمد تأثيرهما على مدى توافقهما مع الأهداف البيئية.

وفي ضوء النتائج المتحصل عليها، تبرز مجموعة من التوصيات التي تستند إلى الطبيعة الهيكلية والتدريجية للتحول الطاقوي في الجزائر، ويمكن تلخيصها كما يلي:

على المستوى التكنولوجي

- ✓ تبني سياسة صناعية موجهة نحو بناء منظومة ابتكار خضراء متكاملة.
- ✓ تطوير سلاسل قيمة محلية في الطاقات المتجددة بدل الاعتماد على الاستيراد.
- ✓ توجيه البحث والتطوير نحو تطبيقات مرتبطة بخصوصيات الجزائر (كالطاقة الشمسية الصحراوية).
- ✓ تعزيز التعاون بين الجامعات والقطاع الصناعي.
- ✓ الانتقال من المشاريع التجريبية إلى التوسع في النشر الفعلي للتكنولوجيا.

على المستوى المؤسسي

- ✓ بناء إطار تنظيمي مستقر وقابل للتنبؤ في قطاع الطاقة.

- ✓ تقليل التقلبات في السياسات وتعزيز مصداقية الالتزامات الحكومية.
- ✓ تبسيط الإجراءات الإدارية المرتبطة بالاستثمار.
- ✓ تقليص ازدواجية الأدوار بين الفاعلين العموميين.
- ✓ تطوير هيئات تنظيمية مستقلة تعزز ثقة المستثمرين.

على المستوى المالي

- ✓ إعادة توجيه النظام المالي لدعم الطاقات المتجددة.
- ✓ إدماج معايير الاستدامة في الإقراض البنكي.
- ✓ تطوير أدوات مالية خضراء (مثل السندات الخضراء وصناديق الاستثمار).
- ✓ توفير آليات لتقاسم المخاطر.
- ✓ تقليل تمويل القطاعات كثيفة الكربون وربط التمويل بالأداء البيئي.

على مستوى التجارة والاستثمار

- ✓ تبني انفتاح تجاري موجه بيئيًا.
- ✓ تشجيع استيراد التكنولوجيا النظيفة.
- ✓ الاندماج في سلاسل القيمة العالمية الخضراء.
- ✓ فرض معايير بيئية على الاستثمارات الأجنبية.
- ✓ تعزيز نقل التكنولوجيا وبناء القدرات المحلية.

على المستوى الاستراتيجي

- ✓ اعتماد رؤية متكاملة تربط بين السياسات التكنولوجية والمؤسسية والمالية.
- ✓ تجاوز المقاربات المجزأة نحو تنسيق شامل للسياسات.
- ✓ تصميم سياسات تدريجية تراعي العتبات الهيكلية.
- ✓ التركيز على التراكم طويل الأجل بدل النتائج السريعة.
- ✓ ضمان انسجام النمو الاقتصادي مع أهداف التحول الطاقوي.

وفيما يتعلق بالفجوة البحثية التي انطلقت منها هذه الدراسة، تتجلى أهميتها العلمية في معالجة القصور القائم في الأدبيات المتعلقة بالتحول الطاقوي في الجزائر، والتي اتسمت في معظمها بالتركيز الجزئي على أبعاد منفصلة، سواء البيئية أو الاقتصادية، دون تقديم إطار تحليلي متكامل يجمع بين مختلف المحددات المؤثرة في هذا التحول. كما أن العديد من الدراسات السابقة اعتمدت مقاربات

خطية أو ساكنة، مما حدّ من قدرتها على تفسير التعقيد الفعلي لديناميكيات الطاقة المتجددة، خاصة في سياق يتسم بعدم التجانس واعتماد هيكلي على الموارد الأحفورية.

وفي هذا الإطار، تكتسب هذه الدراسة قيمتها العلمية من خلال تقديم مقاربة تحليلية متقدمة تتجاوز هذا القصور، حيث تم تطوير نموذج تكاملي يجمع بين العوامل الاقتصادية الكلية، والمالية، والمؤسسية، والتكنولوجية ضمن إطار موحد، مع توظيف أدوات قياسية حديثةM-QQR) ، WQR، (CWTقادرة على التقاط التباينات التوزيعية، والديناميكيات الزمنية، والعلاقات السببية غير الخطية. وقد سمح هذا التوجه بالكشف عن أن التحول الطاقوي في الجزائر ليس عملية متجانسة، بل مسار معقد يعتمد على العتبات الهيكلية والتفاعل بين العوامل المختلفة عبر الزمن.

وبذلك، لا تقتصر مساهمة هذه الدراسة على سد فجوة تطبيقية في السياق الجزائري، بل تمتد لتقديم إضافة منهجية للأدبيات من خلال إبراز أهمية الجمع بين التحليل الكمي التوزيعي والتحليل الزمني—الترددي لفهم التحولات الطاقوية. كما توفر هذه النتائج إطارًا تفسيريًا أكثر دقة يمكن تعميمه على الاقتصادات المشابهة، خاصة تلك التي تعتمد على الموارد الطبيعية، مما يعزز من القيمة العلمية للدراسة ويجعلها مرجعًا في تحليل ديناميكيات الانتقال نحو الطاقة المتجددة.

كما تفتح هذه الدراسة مجموعة من الآفاق البحثية المستقبلية التي يمكن أن تسهم في تعميق فهم ديناميكيات التحول الطاقوي في الجزائر وفي الاقتصادات المشابهة. فعلى المستوى المنهجي، يمكن توسيع التحليل من خلال دمج نماذج إضافية قادرة على التقاط التفاعلات المعقدة بين المتغيرات، مثل نماذج الشبكات أو نماذج التعلم الآلي، بما يسمح باختبار العلاقات غير الخطية في أطر أكثر مرونة. كما يمكن مستقبلاً توظيف بيانات أكثر تفصيلاً على المستوى القطاعي أو الجغرافي (مثلاً على مستوى الولايات)، مما يتيح تحليل الفروقات المكانية في انتشار الطاقة المتجددة.

ومن جهة أخرى، يمكن تعميق التحليل من خلال إدماج متغيرات إضافية لم تشملها هذه الدراسة، مثل السياسات الطاقوية المحددة، وأسعار الطاقة، ودعم الوقود الأحفوري، ومستوى الوعي البيئي، لما لها من تأثير مباشر على سلوك الاستثمار والاستهلاك الطاقوي. كما يُعد توسيع نطاق الدراسة ليشمل مقارنات دولية أو تحليل بيانات بانل لدول ذات خصائص مشابهة خطوة مهمة لاختبار قابلية تعميم النتائج. وعلى المستوى الزمني، يمكن مستقبلاً دراسة أثر الصدمات الاقتصادية الكبرى، مثل تقلبات أسعار النفط أو الأزمات العالمية، على مسار التحول الطاقوي باستخدام نماذج ديناميكية أكثر تخصصًا. كما يمكن تحليل التفاعل بين التحول الرقمي والتحول الطاقوي، باعتباره أحد الاتجاهات الحديثة في الأدبيات، خاصة فيما يتعلق بكفاءة الطاقة والابتكار التكنولوجي. وبذلك، تساهم هذه الآفاق البحثية في توسيع نطاق التحليل، وتؤكد أن فهم التحول نحو الطاقة المتجددة يتطلب مقاربات متعددة التخصصات تجمع بين الاقتصاد والطاقة والتكنولوجيا والحوكمة، بما يعزز من تطوير سياسات أكثر فعالية واستدامة.

قائمة المصادر والمراجع

المراجع باللغة العربية:

الجريدة الرسمية الجزائرية. (1999). قانون رقم 99-09 المتعلق بالتحكم في الطاقة. *الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية*.

الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية. (2002). *القانون رقم 02-01 المؤرخ في 05 فيفري 2002 والمتعلق بالكهرباء والتوزيع العمومي للغاز*. https://creg.gov.dz/wp-content/uploads/2021/11/Loi02_01fr.pdf .

الطيف, ع. ا., & كوراد, ف. (2019). الطاقات المتجددة في الجزائر وفرص تحقيق الانتقال الطاقوي. *مجلة التنمية الاقتصادية*, *4*(2), 167-182.

الكريم, ب. د. ع., & الكريم, ب. د. ع. (2018). أي مستقبل للنفط في الاقتصاد الجزائري في ظل الأزمات المالية المتتالية. *مجلة البشائر الاقتصادية*, *4*(2), 581-600.

ايهاب حسن علي, ا., السعيد فراج, س., & احمد عبد العال, ر. (2025). أمن الطاقة في مصر وآليات ضمان استدامته. *المجلة العلمية للدراسات التجارية والبيئية*, *16*(3), 5283-5307 .

https://doi.org/10.21608/jces.2025.459416

بوجحفة, ر. (2020). دور الطاقات المتجددة في تحقيق أبعاد التنمية الاقتصادية المستدامة –مقاربة نظرية مفاهيمية–. *مجلة قانون العمل و التشغيل*, *5*(3), 18-34.

توات, ن. (2020). *الاستثمار في الطاقات المتجددة –الواقع و الآفاق–* . دار أسامة للنشر و التوزيع.

حنان, ز., & محمد, ز .(2022a) .الطاقات المتجددة كتوجه للانتقال الطاقوي في الجزائر. *الدراسات القانونية المقارنة*, *8*(2), 280-295.

حنان, ز., & محمد, ز .(2022b) .الطاقات المتجددة كتوجه للانتقال الطاقوي في الجزائر. *الدراسات القانونية المقارنة*, *8*(2), 280-295.

رحماني, ي. ز .(16 avril 2024) .تقنيات الطاقة المتجددة وخيارات الجزائر لنقل وتصدير الكهرباء. *أفاق مصادر الطاقات البديلة في تعويض النفط خاصة في ظل التغيير المناخي*. الملتقى الوطني – تقلبات أسعار النفط العالمية ودورها في التأثير على اقتصاديات الجزائر والدول النفطية في ظل الأزمات العالمية المتتالية.

سمية, ع., خيرالدين, ج., & محمد, ك. (2018). توجه الجزائر نحو الإقتصاد الأخضر من خلال الطاقات المتجددة. –نماذج لمؤسسات خضراء–. *مجلة نماء للإقتصاد والتجارة*, *2*(2), 1-10.

محمد, ق., & صفاء, ب. (2017). الابتكار التكنولوجي في المؤسسات أنواعه، مصادره، والعوامل المؤثرة فيه. *دراسات اقتصادية*, *11*(3), 280-287.

معيفي, ف. (2025). علاقات الطاقة الأوروبية في أوقات الأزمات : إعادة النظر في أمن الطاقة. *آفاق علمية*, *17*(1), 794-812.

المراجع باللغة الأجنبية:

Abada, Z., & Bouharkat, M. (2018). Study of management strategy of energy resources in Algeria. *Energy Reports*, *4*, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2017.09.004

Abban, O. J., Rajaguru, G., & Acheampong, A. O. (2025). Examining the role of pro-market institutions in facilitating global energy transition. *Energy Strategy Reviews*, *62*, 101962. https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101962

Abdollahi, S., Madadi, M., Ghorbanzadeh, S., Ostad-Ali-Askari, K., Singh, V. P., & Eslamian, S. (2019). Study of Energy Types : Fossil, Nuclear and Renewable Energies and their Evaluation in Terms of Environmental Pollution and Economically. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, *12*(3), 342-351. https://doi.org/10.3844/ajeassp.2019.342.351

Abildtrup, A., & Alminde, I. C. (2024). Assessing Sustainability in Renewable Energy : Sources, Solutions and Metrics. *Journal of Computing and Natural Science*, 096-106. https://doi.org/10.53759/181X/JCNS202404010

Abubakar, S., Aiyedogbona, J. O.-C., Aigbedion, M., & Akadiri, S. S. (2026). Finance-Renewable Energy Nexus : A Multidimensional Decomposition of Financial Development Approach. *Energy RESEARCH LETTERS*, *7*(3). https://doi.org/10.46557/001c.127525

Achalpur, Amravati, G. Raut, A., D. Raut, R., Professor in Applied Electronics Department S. G B. A. University, Amravati (M.S. India)., Kanchan A. Ingle, Ku., & Lecturer in Plastic and Polymer Engineering, Government Polytechnic, Amravati, (M.S. India). (2024). SOLAR ENERGY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *International Journal of Advanced Research*, *12*(01), 954-958. https://doi.org/10.21474/IJAR01/18209

AE, R. (2021, juin 22). Impact de la pandémie en Algérie : Plus de 500.000 emplois perdus. *Algerie Eco*. https://algerie-eco.com/2021/06/22/impact-de-la-pandemie-en-algerie-plus-de-500-000-emplois-perdus/

Aghahosseini, A., Solomon, A. A., Breyer, C., Pregger, T., Simon, S., Strachan, P., & Jäger-Waldau, A. (2023). Energy system transition pathways to meet the global electricity demand for ambitious climate targets and cost competitiveness. *Applied Energy*, *331*, 120401. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120401

Ahmed, Z., Ahmad, M., Murshed, M., Ibrahim Shah, M., Mahmood, H., & Abbas, S. (2022). How do green energy technology investments, technological innovation, and trade globalization enhance green energy supply and stimulate environmental sustainability in the G7 countries? *Gondwana Research*, *112*, 105-115. https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.09.014

Akinwale Ishola. (2024). Global renewable energy transition in fossil fuel dependent regions. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, *24*(1), 1373-1380. https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.24.1.3046

Akinyele, D., & Olabode, O. (2025). Recent Advances in Green and Low-Carbon Energy Resources : Navigating the Climate-Friendly Microgrids for Decarbonized Power Generation. *Processes*, *13*(9), 3028. https://doi.org/10.3390/pr13093028

Akrofi, M. M., & Antwi, S. H. (2020). COVID-19 energy sector responses in Africa : A review of preliminary government interventions. *Energy Research & Social Science*, *68*, 101681. https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101681

Alajingi, R., & R, M. (2023). Novel classification of energy sources, with implications for carbon emissions. *Energy Strategy Reviews*, *49*, 101146. https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101146

Alam, Md. M., & Murad, W. (2021). *The Impacts of Economic Growth, Trade Openness and Technological Progress on Renewable Energy Use in Organization for Economic Co-Operation and Development Countries*. SocArXiv. https://doi.org/10.31235/osf.io/wj45u

Algarni, S., Tirth, V., Alqahtani, T., Alshehery, S., & Kshirsagar, P. (2023). Contribution of renewable energy sources to the environmental impacts and economic benefits for sustainable development. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *56*, 103098. https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103098

Alhijazi, A. A. K., Almasri, R. A., & Alloush, A. F. (2023). A Hybrid Renewable Energy (Solar/Wind/Biomass) and Multi-Use System Principles, Types, and Applications : A Review. *Sustainability*, *15*(24), 16803. https://doi.org/10.3390/su152416803

Almulhim, A. A., Inuwa, N., Chaouachi, M., & Samour, A. (2025). Testing the Impact of Renewable Energy and Institutional Quality on Consumption-Based CO2 Emissions : Fresh Insights from MMQR Approach. *Sustainability*, *17*(2), 704. https://doi.org/10.3390/su17020704

Alola, A. A., Doganalp, N., & Obekpa, H. O. (2023). The influence of renewable energy and economic freedom aspects on ecological sustainability in the G7 countries. *Sustainable Development*, *31*(2), 716-727. https://doi.org/10.1002/sd.2414

Alsagr, N., & Van Hemmen, S. (2021). The impact of financial development and geopolitical risk on renewable energy consumption : Evidence from emerging markets. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(20), 25906-25919. https://doi.org/10.1007/s11356-021-12447-2

Amoah, A., Kwablah, E., Korle, K., & Offei, D. (2020). Renewable energy consumption in Africa : The role of economic well-being and economic freedom. *Energy, Sustainability and Society*, *10*(1), 32. https://doi.org/10.1186/s13705-020-00264-3

Androniceanu, A., & Sabie, O. M. (2022). Overview of Green Energy as a Real Strategic Option for Sustainable Development. *Energies*, *15*(22), 8573. https://doi.org/10.3390/en15228573

Ang, B. W., Choong, W. L., & Ng, T. S. (2015). Energy security : Definitions, dimensions and indexes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *42*, 1077-1093. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.064

Ang, T.-Z., Salem, M., Kamarol, M., Das, H. S., Nazari, M. A., & Prabaharan, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources : Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*, *43*, 100939. https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939

Asghar, M., Ali, S., Hanif, M., & Ullah, S. (2024). Energy transition in newly industrialized countries : A policy paradigm in the perspective of technological innovation and urbanization. *Sustainable Futures*, *7*, 100163. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100163

Baghdadi, F., Mohammedi, K., Diaf, S., & Behar, O. (2015). Feasibility study and energy conversion analysis of stand-alone hybrid renewable energy system. *Energy Conversion and Management*, *105*, 471-479. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.07.051

Balali, M. H., Nouri, N., Omrani, E., Nasiri, A., & Otieno, W. (2017). An overview of the environmental, economic, and material developments of the solar and wind sources coupled with the energy storage systems : Environmental, Economic, Material analysis of PV and wind. *International Journal of Energy Research*, *41*(14), 1948-1962. https://doi.org/10.1002/er.3755

Bashir, M. F., Shahbaz, M., Ma, B., & Alam, K. (2024). Evaluating the roles of energy innovation, fossil fuel costs and environmental compliance towards energy transition in advanced industrial economies. *Journal of Environmental Management*, *351*, 119709. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119709

Bétila, R. R. (2023). Economic freedom and carbon emissions across the globe : The mediating effect of renewable energy consumption. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(36), 86300-86327. https://doi.org/10.1007/s11356-023-28420-0

Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Ozturk, I., & Bhattacharya, S. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth : Evidence from top 38

countries. *Applied Energy*, *162*, 733-741. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.104

Bilbao-Terol, A., Cañal-Fernández, V., & Gónzalez-Pérez, C. (2025). Evaluating Energy Security using Choquet Integral : Analysis in the southern E.U. countries. *Annals of Operations Research*, *355*(1), 721-763. https://doi.org/10.1007/s10479-023-05748-x

Boukli Hacene, M. E. A., Lucache, D., Rozale, H., & Chahed, A. (2020). Renewable Energy in Algeria : Desire and Possibilities. *Journal of Asian and African Studies*, *55*(7), 947-964. https://doi.org/10.1177/0021909619900202

bousbaine, tassadit. (2021). Opportunities for Algeria to be located in the world's green energy markets through the exploitation of renewable energies REALITIES AND PROSPECTS. 353-334 ,(2)*12* ,*مجلة الإقتصاد الجديد*.

Bouznit, M., Pablo-Romero, M. D. P., & Sánchez-Braza, A. (2020). Measures to Promote Renewable Energy for Electricity Generation in Algeria. *Sustainability*, *12*(4), 1468. https://doi.org/10.3390/su12041468

Bruce G. Miller & David A. Tillman. (2008). *Coal Characteristics—ScienceDirect*. https://www-sciencedirect-com.www.sndl1.arn.dz/science/chapter/edited-volume/abs/pii/B9780123736116000021?via%3Dihub

Çelikbilek, Y. (2025). A Fuzzy Analytic Hierarchy Process Based COPRAS Approach for the Evaluation of the Renewable Energy Sources. *The Journal of International Scientific Researches*, *10*(1), 118-133. https://doi.org/10.23834/isrjournal.1631425

CEREFE. (2023). *Stratégie Nationale du Développement de l'Hydrogène en Algérie*.

Chavez, S. S., John Treat,Daniel. (2021). *Energy transition or energy expansion? | Transnational Institute*. https://www.tni.org/en/publication/energy-transition-or-energy-expansion

Chen, C., Pinar, M., & Stengos, T. (2020). Renewable energy consumption and economic growth nexus : Evidence from a threshold model. *Energy Policy*, *139*, 111295. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111295

Chen, X. H., Tee, K., Elnahass, M., & Ahmed, R. (2023). Assessing the environmental impacts of renewable energy sources : A case study on air pollution and carbon emissions in China. *Journal of Environmental Management*, *345*, 118525. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118525

Cherp, A., & Jewell, J. (2014). The concept of energy security : Beyond the four As. *Energy Policy*, *75*, 415-421. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.09.005

Chipangamate, N. S., & Nwaila, G. T. (2024). Assessment of challenges and strategies for driving energy transitions in emerging markets : A socio-technological systems perspective. *Energy Geoscience*, *5*(2), 100257. https://doi.org/10.1016/j.engeos.2023.100257

Choudhury, Dr. S. N. (2025). Review of Energy Sources (Renewable and Non-Renewable). *International Journal of Research and Scientific Innovation*, *XII*(VII), 827-833. https://doi.org/10.51244/IJRSI.2025.120700085

Coal Characteristics. (2008). In *Combustion Engineering Issues for Solid Fuel Systems* (p. 33-81). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373611-6.00002-1

CREG. (2015). مذكرة حول سير ترتيب تعريفات الشراء المضمونة للكهرباء ذات الاصل المتجدد : مثال الضوء- فلطي وطاقة الرياح، منشورات لجنة ضبط الكهرباء الكهرباء والغاز. *منشورات لجنة ضبط الكهرباء الكهرباء والغاز*.

Dash, S., Chakravarty, S., Giri, N. C., Ghugar, U., & Fotis, G. (2024). Performance Assessment of Different Sustainable Energy Systems Using Multiple-Criteria Decision-Making

Model and Self-Organizing Maps. *Technologies*, *12*(3), 42. https://doi.org/10.3390/technologies12030042

Deligeorgiou, G., & Gounaris, K. (2014). *Natural Gas as a Source of Energy*. https://doi.org/10.15224/978-1-63248-023-1-56

Denge, E., & Baiyegunhi, C. (2021). Maceral Types and Quality of Coal in the Tuli Coalfield : A Case Study of Coal in the Madzaringwe Formation in the Vele Colliery, Limpopo Province, South Africa. *Applied Sciences*, *11*(5), 2179. https://doi.org/10.3390/app11052179

Dietzenbacher, E., Kulionis, V., & Capurro, F. (2020). Measuring the effects of energy transition : A structural decomposition analysis of the change in renewable energy use between 2000 and 2014. *Applied Energy*, *258*, 114040. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114040

Dimnwobi, S. K., Madichie, C. V., Ekesiobi, C., & Asongu, S. A. (2022). Financial development and renewable energy consumption in Nigeria. *Renewable Energy*, *192*, 668-677. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.150

Dincer, I., & Acar, C. (2015). A review on clean energy solutions for better sustainability. *International Journal of Energy Research*, *39*(5), 585-606. https://doi.org/10.1002/er.3329

Dinçer, S. (2025). ALTERNATIVE RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE CONTEXT OF GLOBAL ENERGY CRISES AND SUSTAINABLE ENVIRONMENT. *Kapanaltı Dergisi*, (7), 19-30. https://doi.org/10.62080/kmfed.1642736

Doytch, N., & Narayan, S. (2016). Does FDI influence renewable energy consumption? An analysis of sectoral FDI impact on renewable and non-renewable industrial energy

consumption. *Energy Economics*, *54*, 291-301. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.12.010

Edward J. Tarbuck, F. K. L. (avec Internet Archive). (2008). *Earth : An Introduction to Physical Geology: Custom Edition for Mark Feighner, Solano Community College*. Pearson Custom Publishing. http://archive.org/details/earthintroductio0000edwa

Eren, B. M., Taspinar, N., & Gokmenoglu, K. K. (2019). The impact of financial development and economic growth on renewable energy consumption : Empirical analysis of India. *Science of The Total Environment*, *663*, 189-197. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.323

Fan, W., & Hao, Y. (2020). An empirical research on the relationship amongst renewable energy consumption, economic growth and foreign direct investment in China. *Renewable Energy*, *146*, 598-609. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.170

Fang, X., Yang, Z., Zhang, Y., & Miao, X. (2024). Foreign direct investment and the structural transition of energy consumption : Impact and mechanisms. *Humanities and Social Sciences Communications*, *11*(1), 1759. https://doi.org/10.1057/s41599-024-04280-y

Fattouh, B., & El-Katiri, L. (2013). Energy subsidies in the Middle East and North Africa. *Energy Strategy Reviews*, *2*(1), 108-115. https://doi.org/10.1016/j.esr.2012.11.004

Fonseca, J. D., Commenge, J.-M., Camargo, M., Falk, L., & Gil, I. D. (2021). Sustainability analysis for the design of distributed energy systems : A multi-objective optimization approach. *Applied Energy*, *290*, 116746. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116746

Francisco, S. (2022). Higher oil prices are giving Algeria's regime breathing room. *Middle East Institute*. https://mei.edu/publication/higher-oil-prices-are-giving-algerias-regime-breathing-room/

Gan, K. E., Taikan, O., Gan, T. Y., Weis, T., Yamazaki, D., & Schüttrumpf, H. (2023). Enhancing Renewable Energy Systems, Contributing to Sustainable Development Goals of United Nation and Building Resilience Against Climate Change Impacts. *Energy Technology*, *11*(11), 2300275. https://doi.org/10.1002/ente.202300275

Gayen, D., Chatterjee, R., & Roy, S. (2024). A review on environmental impacts of renewable energy for sustainable development. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *21*(5), 5285-5310. https://doi.org/10.1007/s13762-023-05380-z

Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes : A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy, NELSON + WINTER + 20*, *31*(8), 1257-1274. https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8

GENV22-23.pdf. (s. d.).

Ghazouani, T. (2022). Dynamic impact of globalization on renewable energy consumption : Non-parametric modelling evidence. *Technological Forecasting and Social Change*, *185*, 122115. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122115

Gheorghe, I. F. (2024). Energy Sources in Natural and Anthropogenic Ecosystems. *SilvaWorld*, *3*(2), 78-86. https://doi.org/10.61326/silvaworld.v3i2.256

Gholamian, E., Hanafizadeh, P., Ahmadi, P., & Mazzarella, L. (2020). A transient optimization and techno-economic assessment of a building integrated combined cooling, heating and power system in Tehran. *Energy Conversion and Management*, *217*, 112962. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112962

Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, *24*, 38-50. https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006

Goodenough, A., Scott, J., Cameron, G., Hawkins, D., Luck, M., Koenig, J., Snape, A., Papachristodoulou, D., Yeoman, K., & Goodwin, M. (2022). *Biological Science : Exploring the Science of Life*. Oxford University Press.

Grigoriev, B. A., Gerasimov, A. A., Alexandrov, I. S., & Nemzer, B. V. (2022). Chapter 1—Hydrocarbons of petroleum and natural gases. In B. A. Grigoriev, A. A. Gerasimov, I. S. Alexandrov, & B. V. Nemzer (Éds.), *Thermophysical Properties of Individual Hydrocarbons of Petroleum and Natural Gases* (p. 1-12). Gulf Professional Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95217-0.00001-4

Guidi, G., Violante, A. C., & De Iuliis, S. (2023). Environmental Impact of Electricity Generation Technologies : A Comparison between Conventional, Nuclear, and Renewable Technologies. *Energies*, *16*(23), 7847. https://doi.org/10.3390/en16237847

Gupta, T. (2018). Coal, the Black Carbon. In T. Gupta (Éd.), *Carbon : The Black, the Gray and the Transparent* (p. 139-173). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66405-7_5

Habiba, U., & Xinbang, C. (2023). The contribution of different aspects of financial development to renewable energy consumption in E7 countries : The transition to a sustainable future. *Renewable Energy*, *203*, 703-714. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.12.088

Haddoum, S., Bennour, H., & Ahmed Zaïd, T. (2018). Algerian Energy Policy : Perspectives, Barriers, and Missed Opportunities. *Global Challenges*, *2*(8), 1700134. https://doi.org/10.1002/gch2.201700134

Haddoum, S., Bennour, H., & Zaid, T. A. (2024). Renewables in the Energy Mix of Algeria, a pledge for food security. *ENP Engineering Science Journal*, *4*(1), 50-54. https://doi.org/10.53907/enpesj.v4i1.195

Haldar, A., & Sethi, N. (2021). Effect of institutional quality and renewable energy consumption on CO2 emissions–an empirical investigation for developing countries. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(12), 15485-15503. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11532-2

Halkos, G. E., & Gkampoura, E.-C. (2020). Reviewing Usage, Potentials, and Limitations of Renewable Energy Sources. *Energies*, *13*(11), 2906. https://doi.org/10.3390/en13112906

Hallam, Z. (2018). دوافع وفرص الاستثمار الأجنبي المباشر في الطاقات المتجددة : تقييم حصيلة استغلال الطاقة المتجددة بالجزائر خلال الفترة 1980-2016. *Revue Les Cahiers du POIDEX*, *7*(1), 49-81.

Han, J., Zeeshan, M., Ullah, I., Rehman, A., & Afridi, F. E. A. (2022). Trade openness and urbanization impact on renewable and non-renewable energy consumption in China. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(27), 41653-41668. https://doi.org/10.1007/s11356-021-18353-x

Hanna, B., & Danae, F. (2022). *Comparing coal commissions : What to learn for future fossil phase-outs ? | Coal Transitions*. https://coaltransitions.org/news/comparing-coal-commissions-what-to-learn-for-future-fossil-phase-outs/

Harraz, H. (2016). *BENCHMARKS OF CRUDE OILS*. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4306.5207

Hassan, Q., Viktor, P., J. Al-Musawi, T., Mahmood Ali, B., Algburi, S., Alzoubi, H. M., Khudhair Al-Jiboory, A., Zuhair Sameen, A., Salman, H. M., & Jaszczur, M. (2024). The renewable energy role in the global energy Transformations. *Renewable Energy Focus*, *48*, 100545. https://doi.org/10.1016/j.ref.2024.100545

Hassan, S. T., Batool, B., Zhu, B., & Khan, I. (2022). Environmental complexity of globalization, education, and income inequalities : New insights of energy poverty. *Journal of Cleaner Production*, *340*, 130735. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130735

Himri, Y., Malik, A. S., Boudghene Stambouli, A., Himri, S., & Draoui, B. (2009). Review and use of the Algerian renewable energy for sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *13*(6-7), 1584-1591. https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.007

Himri, Y., Rehman, S., Mostafaeipour, A., Himri, S., Mellit, A., Merzouk, M., & Merzouk, N. K. (2022). Overview of the Role of Energy Resources in Algeria's Energy Transition. *Energies*, *15*(13), 4731. https://doi.org/10.3390/en15134731

Holechek, J. L., Geli, H. M. E., Sawalhah, M. N., & Valdez, R. (2022). A Global Assessment : Can Renewable Energy Replace Fossil Fuels by 2050? *Sustainability*, *14*(8), 4792. https://doi.org/10.3390/su14084792

IEA. (2020). Low fuel prices provide a historic opportunity to phase out fossil fuel consumption subsidies – Analysis. *IEA*. https://www.iea.org/articles/low-fuel-prices-provide-a-historic-opportunity-to-phase-out-fossil-fuel-consumption-subsidies

Isabelle dos Santos, S., Silva da Silveira, D., Freitas da Costa, M., & Soares de Freitas, H. M. (2024). Systematic review of sustainable energy consumption from consumer behavior perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *203*, 114736. https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114736

Jia, H., Fan, S., & Xia, M. (2023). The Impact of Renewable Energy Consumption on Economic Growth : Evidence from Countries along the Belt and Road. *Sustainability*, *15*(11), 8644. https://doi.org/10.3390/su15118644

Jones, M. P., Krexner, T., & Bismarck, A. (2022). Repurposing Fischer-Tropsch and natural gas as bridging technologies for the energy revolution. *Energy Conversion and Management*, *267*, 115882. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115882

Jovanovski, G., Boev, B., & Makreski, P. (2023). Chemistry and geology of coal : Nature, composition, coking, gasification, liquefaction, production of chemicals, formation, peatification, coalification, coal types, and ranks. *ChemTexts*, *9*(1), 2. https://doi.org/10.1007/s40828-022-00177-y

Julzarika, A., & Setiawan, K. T. (2017). UTILIZATION OF SAR AND EARTH GRAVITY DATA FOR SUB BITUMINOUS COAL DETECTION. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, *11*(2), 143-152. https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2014.v11.a2612

Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2022). Sustainable Energy Transition for Renewable and Low Carbon Grid Electricity Generation and Supply. *Frontiers in Energy Research*, *9*, 743114. https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.743114

Khan, A., Chenggang, Y., Hussain, J., & Kui, Z. (2021). Impact of technological innovation, financial development and foreign direct investment on renewable energy, non-renewable energy and the environment in belt & Road Initiative countries. *Renewable Energy*, *171*, 479-491. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.075

Kor, S., & Qamruzzaman, M. (2023). Nexus between FDI, Financial Development, Capital Formation and Renewable Energy Consumption; evidence from Bangladesh. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *13*(6), 129-145. https://doi.org/10.32479/ijeep.14863

Korani, A. E. (2025). Impact of Foreign Direct Investment on Renewable Energy Generation : Evidence from Europe. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *15*(2), 51-57. https://doi.org/10.32479/ijeep.17608

Kozechko, V., & Kozechko, V. (2024). Challenges and risks of using renewable energy sources. In M. Aghaei, H. Ren, & X. Zhang (Éds.), *Fifth International Conference on Green Energy, Environment, and Sustainable Development (GEESD 2024)* (p. 20). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.3042210

Li, J., Liu, K., Yang, Z., & Qu, Y. (2023). Evolution and Impacting Factors of Global Renewable Energy Products Trade Network : An Empirical Investigation Based on ERGM Model. *Sustainability*, *15*(11), 8701. https://doi.org/10.3390/su15118701

Li, Q., & Zhang, S. (2025). Impact of globalization and industrialization on ecological footprint : Do institutional quality and renewable energy matter? *Frontiers in Environmental Science*, *13*, 1535638. https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1535638

Liu, Y., Wang, S., Xu, Q., & Huang, Y. (2025). Comprehensive utilization of natural gas for simultaneous production of electricity, urea, and liquefied natural gas with inherent carbon capture. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *27*(6), 2535-2546. https://doi.org/10.1007/s10098-024-03018-3

Łukasiewicz, K., Pietrzak, P., Kraciuk, J., Kacperska, E., & Cieciora, M. (2022). Sustainable Energy Development—A Systematic Literature Review. *Energies*, *15*(21), 8284. https://doi.org/10.3390/en15218284

Lv, Y. (2023). Transitioning to sustainable energy : Opportunities, challenges, and the potential of blockchain technology. *Frontiers in Energy Research*, *11*, 1258044. https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1258044

Majeed, M. T., & Hussain, Z. (2025). Financial sector development and renewable energy consumption nexus : Evidence from global dynamic panel threshold analysis. *Natural Resources Forum*, *49*(3), 2299-2323. https://doi.org/10.1111/1477-8947.12469

Manta, A. G., Gherțescu, C., Bădîrcea, R. M., Manta, L. F., Popescu, J., & Lăpădat, C. V. M. (2025). How Does the Interplay Between Banking Performance, Digitalization, and Renewable Energy Consumption Shape Sustainable Development in European Union Countries? *Energies*, *18*(3), 571. https://doi.org/10.3390/en18030571

Maradin, D. (2021). ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF RENEWABLE ENERGY SOURCES UTILIZATION. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *11*(3), 176-183. https://doi.org/10.32479/ijeep.11027

McKee, T., & McKee, J. R. (2023). Energy. In *BiochemistryThe Molecular Basis of Life*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/hesc/9780190847685.003.0004

Md. Qamruzzaman. (2024). Nexus between foreign direct investment, gross capital formation, financial development and renewable energy consumption : Evidence from panel data estimation. *GSC Advanced Research and Reviews*, *18*(1), 182-200. https://doi.org/10.30574/gscarr.2024.18.1.0011

Ministry Of Energy And Renewable Energies. (s. d.). Consulté 24 décembre 2025, à l'adresse https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie

Mirzaei, M. R., Kasaeian, A., Sadeghi Motlagh, M., & Fereidoni, S. (2024). Thermo-economic analysis of an integrated combined heating, cooling, and power unit with dish collector and organic Rankine cycle. *Energy*, *296*, 131089. https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131089

Mukhtarov, S., Yüksel, S., & Dinçer, H. (2022). The impact of financial development on renewable energy consumption : Evidence from Turkey. *Renewable Energy*, *187*, 169-176. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.061

Murshed, M. (2020). Are Trade Liberalization policies aligned with Renewable Energy Transition in low and middle income countries? An Instrumental Variable approach. *Renewable Energy*, *151*, 1110-1123. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.106

Naegler, T., Becker, L., Buchgeister, J., Hauser, W., Hottenroth, H., Junne, T., Lehr, U., Scheel, O., Schmidt-Scheele, R., Simon, S., Sutardhio, C., Tietze, I., Ulrich, P., Viere, T., & Weidlich, A. (2021). Integrated Multidimensional Sustainability Assessment of Energy System Transformation Pathways. *Sustainability*, *13*(9), 5217. https://doi.org/10.3390/su13095217

Nations, U. (s. d.). *الأمم المتحدة | تعريف بالطاقة المتجددة*. United Nations. United Nations. Consulté 4 janvier 2026, à l'adresse https://www.un.org/ar/climatechange/what-is-renewable-energy

Obuseh, E., Eyenubo, J., Alele, J., Okpare, A., & Oghogho, I. (2025). A Systematic Review of Barriers to Renewable Energy Integration and Adoption. *Journal of Asian Energy Studies*, *9*, 26-45. https://doi.org/10.24112/jaes.090002

Odunayo Adewunmi Adelekan, Bamidele Segun Ilugbusi, Olawale Adisa, Ogugua Chimezie Obi, Kehinde Feranmi Awonuga, Onyeka Franca Asuzu, & Ndubuisi Leonard Ndubuisi. (2024). ENERGY TRANSITION POLICIES : A GLOBAL REVIEW OF SHIFTS TOWARDS RENEWABLE SOURCES. *Engineering Science & Technology Journal*, *5*(2), 272-287. https://doi.org/10.51594/estj.v5i2.752

Olanrewaju, O. (2023). *Sustainable Energy Development : History and Recent Advances* (No. 2023091868). Preprints. https://doi.org/10.20944/preprints202309.1868.v1

Omar, K., Nadir, B., Djamila, K., & Abdeladim, K. (2025). Algeria's Energy Transition : A Critical Assessment For A Sustainable Future. *International Journal of Environmental Sciences*, *11*(7s), 582-592. https://doi.org/10.64252/s9jz8k61

Osman, A. I., Chen, L., Yang, M., Msigwa, G., Farghali, M., Fawzy, S., Rooney, D. W., & Yap, P.-S. (2023). Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a changing climate : A review. *Environmental Chemistry Letters*, *21*(2), 741-764. https://doi.org/10.1007/s10311-022-01532-8

Osuma, G., & Bonga-Bonga, L. (2025). The Effects of Foreign Direct Investment and Technological Innovation on Renewable Energy Consumption Under Varying Market Conditions in the EU. *Energies*, *18*(6), 1353. https://doi.org/10.3390/en18061353

Ozili, P. (2022). COVID-19 in Africa : Socio-economic impact, policy response and opportunities. *International Journal of Sociology and Social Policy*, *42*(3/4), 177-200. https://doi.org/10.1108/IJSSP-05-2020-0171

Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(3), 1513-1524. https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.037

Papin, V. V., Efimov, N. N., Dyakonov, E. M., Bezuglov, R. V., Dobrydnev, D. V., & Shmakov, A. S. (2022). A classification of energy forms according to the levels of organization of matter. *iPolytech Journal*, *26*(1), Article 1.

Piłatowska, M., & Geise, A. (2021). Impact of Clean Energy on CO2 Emissions and Economic Growth within the Phases of Renewables Diffusion in Selected European Countries. *Energies*, *14*(4), 812. https://doi.org/10.3390/en14040812

Portail CDER. (s. d.). *L'Algérie va construire 6 usines de dessalement à énergie solaire d'ici 2025 – Portail algérien*. Consulté 25 décembre 2025, à l'adresse

https://portail.cder.dz/2024/04/22/lalgerie-va-construire-6-usines-de-dessalement-a-energie-solaire-dici-2025/

Proskuryakova, L. (2023). The Contribution of Low-Carbon Energy Technologies to Climate Resilience. *Climate*, *11*(12), 231. https://doi.org/10.3390/cli11120231

Qamruzzaman, M., & Swarna, S. R. (2025). Innovation Led Renewable Energy Consumption in OECD Nations : Evidence from Fourier Functions. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *15*(5), 427-449. https://doi.org/10.32479/ijeep.19798

Qazi, A., Hussain, F., Rahim, N. ABD., Hardaker, G., Alghazzawi, D., Shaban, K., & Haruna, K. (2019). Towards Sustainable Energy : A Systematic Review of Renewable Energy Sources, Technologies, and Public Opinions. *IEEE Access*, *7*, 63837-63851. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2906402

Rabhi, B., Regue, H. M., Benchatti, T., & Benchatti, A. (2024). Reviewing Algeria's Energy and Environmental Landscape : Policy, Regulation, and Knowledge Needs. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, *19*(4), 1281-1289. https://doi.org/10.18280/ijsdp.190406

Rahman, A., Farrok, O., & Haque, M. M. (2022). Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants : Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *161*, 112279. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112279

Ramzan, M., Hossain, M. R., Eskandari, H., Razi, U., & Adeboya, T. S. (2025). Winding down Spain's looming energy poverty amid green energy transition : Evidence from novel multivariate quantile-on-quantile (M-QQR) regression. *Energy Economics*, *145*, 108436. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108436

Raza, S. A., Shah, N., Qureshi, M. A., Qaiser, S., Ali, R., & Ahmed, F. (2020). Non-linear threshold effect of financial development on renewable energy consumption : Evidence from panel smooth transition regression approach. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(25), 32034-32047. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09520-7

Saadaoui, H., & Chtourou, N. (2023). Do Institutional Quality, Financial Development, and Economic Growth Improve Renewable Energy Transition? Some Evidence from Tunisia. *Journal of the Knowledge Economy*, *14*(3), 2927-2958. https://doi.org/10.1007/s13132-022-00999-8

Saidi, K., & Omri, A. (2020). The impact of renewable energy on carbon emissions and economic growth in 15 major renewable energy-consuming countries. *Environmental Research*, *186*, 109567. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109567

Samir, A., Fatma, H., Eddine, I. D., & Lyes, B. (2024). MECHANISMS AND MEASURES FOR THE DEVELOPMENT OF ENERGY SOURCES IN ALGERIA IN LIGHT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *International Journal of Professional Business Review*, *9*(11), e05108. https://doi.org/10.26668/businessreview/2024.v9i11.5108

Saraswat, S. K., & Digalwar, A. K. (2021). Evaluation of energy alternatives for sustainable development of energy sector in India : An integrated Shannon's entropy fuzzy multi-criteria decision approach. *Renewable Energy*, *171*(C), 58-74.

Satrianto, A., Ikhsan, A., Dirma, E. Y., Candrianto, C., Juniardi, E., & Gusti, M. A. (2024). The Effect of Institutional Quality on Renewable Energy : Evidence from Developing Countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *14*(5), 678-686. https://doi.org/10.32479/ijeep.16794

Sgouridis, S., Csala, D., & Bardi, U. (2016). The sower's way : Quantifying the narrowing net-energy pathways to a global energy transition. *Environmental Research Letters*, *11*(9), 094009. https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/9/094009

Shahbaz, M., Sinha, A., Raghutla, C., & Vo, X. V. (2022). Decomposing scale and technique effects of financial development and foreign direct investment on renewable energy consumption. *Energy*, *238*, 121758. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121758

Sim, N., & Zhou, H. (2015). Oil prices, US stock return, and the dependence between their quantiles. *Journal of Banking & Finance*, *55*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2015.01.013

Smoot, L. D. (1979). General Characteristics of Coal. In L. D. Smoot & D. T. Pratt (Éds.), *Pulverized-Coal Combustion and Gasification : Theory and Applications for Continuous Flow Processes* (p. 123-132). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-1696-2_7

Sobczuk, S., Jaroń, A., Mazur, M., & Borucka, A. (2025). Renewable Energy and CO2 Emissions : Analysis of the Life Cycle and Impact on the Ecosystem in the Context of Energy Mix Changes. *Energies*, *18*(13), 3332. https://doi.org/10.3390/en18133332

Sonelgaz relève le défi des projets énergétiques de «2.000 MW, et Solar 1.000 MW» – Portail algérien. (s. d.). Consulté 1 mai 2024, à l'adresse https://portail.cder.dz/2023/12/07/sonelgaz-releve-le-defi-des-projets-energetiques-de-2-000-mw-et-solar-1-000-mw/

Sovacool, B. K., & Mukherjee, I. (2011). Conceptualizing and measuring energy security : A synthesized approach. *Energy, PRES 2010*, *36*(8), 5343-5355. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.043

Speight, J. (2012). The chemistry and technology of coal, third edition. In *The Chemistry and Technology of Coal, Third Edition* (p. 808). https://doi.org/10.1201/b12497

Speight, J. G. (2014). *The Chemistry and Technology of Petroleum* (5e éd.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b16559

Speight, J. G. (2019). *Natural gas : A basic handbook* (Second edition). Gulf Professional Publishing. https://doi.org/10.1016/C2015-0-02190-6

Srinivasan, K. K., Agarwal, A. K., Krishnan, S. R., & Mulone, V. (2019). Introduction to Advanced Combustion Technologies : The Role of Natural Gas in Future Transportation and Power Generation Systems. In K. K. Srinivasan, A. K. Agarwal, S. R. Krishnan, & V. Mulone (Éds.), *Natural Gas Engines : For Transportation and Power Generation* (p. 1-6). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3307-1_1

Stambouli, A. B., Khiat, Z., Flazi, S., & Kitamura, Y. (2012a). A review on the renewable energy development in Algeria : Current perspective, energy scenario and sustainability issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(7), 4445-4460. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.031

Stambouli, A. B., Khiat, Z., Flazi, S., & Kitamura, Y. (2012b). A review on the renewable energy development in Algeria : Current perspective, energy scenario and sustainability issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(7), 4445-4460. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.031

strategie_nationale_hydrogene_VF_2023. (s. d.).

Strojny, J., Krakowiak-Bal, A., Knaga, J., & Kacorzyk, P. (2023). Energy Security : A Conceptual Overview. *Energies*, *16*(13), 5042. https://doi.org/10.3390/en16135042

Susilawati, R. (2015). MINERAL MATTER IN COAL. *Buletin Sumber Daya Geologi*, *10*(1), 14-27. https://doi.org/10.47599/bsdg.v10i1.134

Sustainable energy. (s. d.). UNDP. Consulté 6 janvier 2026, à l'adresse https://www.undp.org/asia-pacific/sustainable-energy

Tan, Y., & Uprasen, U. (2022). The effect of foreign direct investment on renewable energy consumption subject to the moderating effect of environmental regulation : Evidence from the BRICS countries. *Renewable Energy*, *201*, 135-149. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.11.066

Tareen, W. U. K., Anjum, Z., Yasin, N., Siddiqui, L., Farhat, I., Malik, S. A., Mekhilef, S., Seyedmahmoudian, M., Horan, B., Darwish, M., Aamir, M., & Chek, L. W. (2018). The Prospective Non-Conventional Alternate and Renewable Energy Sources in Pakistan—A Focus on Biomass Energy for Power Generation, Transportation, and Industrial Fuel. *Energies*, *11*(9), 2431. https://doi.org/10.3390/en11092431

Tian, J., Yu, L., Xue, R., Zhuang, S., & Shan, Y. (2022). Global low-carbon energy transition in the post-COVID-19 era. *Applied Energy*, *307*, 118205. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118205

Tsaurai, K. (2025). FDI's impact on renewable energy in transitional markets : A panel threshold regression analysis. *Asian Economic and Financial Review*, *15*(9), 1385-1394. https://doi.org/10.55493/5002.v15i9.5584

Tsoumalis, G. I., Bampos, Z. N., Chatzis, G. V., & Biskas, P. N. (2022). Overview of Natural Gas Boiler Optimization Technologies and Potential Applications on Gas Load Balancing Services. *Energies*, *15*(22), 8461. https://doi.org/10.3390/en15228461

Uzar, U. (2020). Political economy of renewable energy : Does institutional quality make a difference in renewable energy consumption? *Renewable Energy*, *155*, 591-603. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.172

Wang, Q., Dong, Z., Li, R., & Wang, L. (2022). Renewable energy and economic growth : New insight from country risks. *Energy*, *238*, 122018. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122018

World Bank, G. (2024). *Algeria | World Bank Group*. https://www.worldbank.org/ext/en/country/algeria

World Energy Outlook 2022 – Analysis. (2022, octobre 27). IEA. https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022

Xu, C., Gao, Y., Qin, Z., Li, Z., Pan, S., & Qi, L. (2024). Historical characteristics and projection of global renewable energy consumption. *Renewable Energy*, *234*, 121222. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121222

Yolcan, O. O. (2023). World energy outlook and state of renewable energy : 10-Year evaluation. *Innovation and Green Development*, *2*(4), 100070. https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100070

Yu, M., Jin, H., Zhang, H., & Chong, A. Y. L. (2023). ICT, Financial Development and Renewable Energy Consumption. *Journal of Computer Information Systems*, *63*(1), 190-203. https://doi.org/10.1080/08874417.2022.2049017

Yu, Y., Jian, X., Wang, H., Jahanger, A., & Balsalobre-Lorente, D. (2024). Unraveling the nexus : China's economic policy uncertainty and carbon emission efficiency through advanced multivariate quantile-on-quantile regression analysis. *Energy Policy*, *188*, 114057. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114057

Zahraoui, Y., Khan, M. R. B., AlHamrouni, I., Mekhilef, S., & Ahmed, M. (2021). Current Status, Scenario, and Prospective of Renewable Energy in Algeria : A Review. *Energies*, *14*(9), 2354. https://doi.org/10.3390/en14092354

Zhang, M., Zhang, S., Lee, C.-C., & Zhou, D. (2021). Effects of trade openness on renewable energy consumption in OECD countries : New insights from panel smooth transition regression modelling. *Energy Economics*, *104*, 105649. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105649

Zhang, R. J., & Razzaq, A. (2022). Influence of economic policy uncertainty and financial development on renewable energy consumption in the BRICST region. *Renewable Energy*, *201*, 526-533. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.10.107

Zhou, P., Lv, Y., & Wen, W. (2023). The Low-Carbon Transition of Energy Systems : A Bibliometric Review from an Engineering Management Perspective. *Engineering*, *29*, 147-158. https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.11.010

Zhuravel, Y., Artemenko, O., Lytvyn, N., Yara, O., & Uliutina, O. (2023). International experience in the use of alternative energy sources (within the European Union). *Law. Human. Environment*, *3*(14), Article 14(3). https://doi.org/10.31548/law/3.2023.46

الجريدة الرسمية الجزائرية. (1999). قانون رقم 99-09 المتعلق بالتحكم في الطاقة. *الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية*.

الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية. (2002). *القانون رقم 02-01 المؤرخ في 05 فيفري 2002 والمتعلق بالكهرباء والتوزيع العمومي للغاز*. https://creg.gov.dz/wp-content/uploads/2021/11/Loi02_01fr.pdf

الطيف, ع. ا., & كوراد, ف. (2019). الطاقات المتجددة في الجزائر وفرص تحقيق الانتقال الطاقوي. *مجلة التنمية الاقتصادية*, *4*(2), 167-182.

الكريم, ب. د. ع., & الكريم, ب. د. ع. (2018). أي مستقبل للنفط في الاقتصاد الجزائري في ظل الأزمات المالية المتتالية. *مجلة البشائر الاقتصادية*, *4*(2), 581-600.

ايهاب حسن علي, ا., السعيد فراج, س., & احمد عبد العال, ر. (2025). أمن الطاقة في مصر وآليات ضمان استدامته. *المجلة العلمية للدراسات التجارية والبيئية*, *16*(3), 5283-5307. https://doi.org/10.21608/jces.2025.459416

بوجحفة, ر. (2020). دور الطاقات المتجددة في تحقيق أبعاد التنمية الاقتصادية المستدامة -مقاربة نظرية مفاهيمية-. *مجلة قانون العمل و التشغيل*, *5*(3), 18-34.

توات, ن. (2020). *الاستثمار في الطاقات المتجددة -الواقع و الآفاق-*. دار أسامة للنشر و التوزيع.

حنان, ز., & محمد, ز. (2022a). الطاقات المتجددة كتوجه للانتقال الطاقوي في الجزائر. *الدراسات القانونية المقارنة*, *8*(2), 280-295.

حنان, ز., & محمد, ز. (2022b). الطاقات المتجددة كتوجه للانتقال الطاقوي في الجزائر. *الدراسات القانونية المقارنة*, *8*(2), 280-295.

رحماني, ي. ز (2024, avril 16). تقنيات الطاقة المتجددة وخيارات الجزائر لنقل وتصدير الكهرباء. *أفاق مصادر الطاقات البديلة في تعويض النفط خاصة في ظل التغيير المناخي*. الملتقى الوطني -تقلبات أسعار النفط العالمية ودورها في التأثير على اقتصاديات الجزائر والدول النفطية في ظل الأزمات العالمية المتتالية.

سميـــة, ع., خيرالدين, ج., & محمد, ك. (2018). توجه الجزائر نحو الإقتصاد الأخضر من خلال الطاقات المتجددة. -نماذج لمؤسسات خضراء-. *مجلة نماء للإقتصاد والتجارة*, *2*(2), 1-10.

محمد, ق., & صفاء, ب. (2017). الابتكار التكنولوجي في المؤسسات أنواعه، مصادره، والعوامل المؤثرة فيه. *دراسات اقتصادية*, *11*(3), 280-287.

معيفي, ف. (2025). علاقات الطاقة الأوروبية في أوقات الأزمات : إعادة النظر في أمن الطاقة. *آفاق علمية*, *17*(1), 794-812.

الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل محددات التحول الطاقوي في الجزائر للفترة 1990-2023، مع التركيز على استهلاك الطاقة المتجددة. استنادًا إلى الإطار النظري والأدبيات التجريبية، تم فحص دور مجموعة من العوامل الاقتصادية والمؤسسية والتكنولوجية، والمتمثلة في الابتكار التكنولوجي الأخضر، والاستثمار الأجنبي المباشر، والتطوير المالي، والانفتاح التجاري، وجودة المؤسسات، والحرية الاقتصادية، والنمو الاقتصادي. ولتحليل الطبيعة المعقدة وغير الخطية لهذه العلاقات، اعتمدت الدراسة على مجموعة من النماذج القياسية المتقدمة، أهمها نموذج الانحدار الكمي على الكمي(M-QQR) ، والانحدار الكمي المويجي(WQR) ، بالإضافة إلى تحليل السببية باستخدام تحويل الموجات المستمر (CWT) . وقد مكنت هذه الأدوات من دراسة تأثير المتغيرات عبر مختلف مستويات استهلاك الطاقة المتجددة، وكذلك عبر الآجال الزمنية القصيرة والمتوسطة والطويلة.

أظهرت النتائج أن التحول الطاقوي في الجزائر يتميز بطابع متعدد المراحل وغير خطي. ففي المراحل الأولى، تلعب جودة المؤسسات والحرية الاقتصادية والنمو الاقتصادي دورًا مهمًا في تحفيز تبني الطاقة المتجددة. أما في المراحل الانتقالية، فيبرز دور الابتكار التكنولوجي الأخضر والانفتاح التجاري، بينما يعتمد الاستقرار على المدى الطويل على القدرات التكنولوجية واستمرارية السياسات. كما بينت النتائج أن الاستثمار الأجنبي المباشر والتطور المالي لا يدعمان بالضرورة الطاقة المتجددة ما لم يتم توجيههما نحو القطاعات النظيفة، بل قد يساهمان في بعض الحالات في تعزيز الأنشطة كثيفة الكربون. وبشكل عام، تؤكد الدراسة على ضرورة تبني سياسات متكاملة ومنسقة، من خلال تعزيز الحوكمة، وتطوير التمويل الأخضر، ودعم الابتكار التكنولوجي، ومواءمة سياسات التجارة والاستثمار مع الأهداف البيئية، وذلك لتحقيق تحول طاقوي مستدام في الجزائر.

الكلمات المفتاحية

التحول الطاقوي، الطاقة المتجددة، التنمية المستدامة، اقتصاديات الطاقة، الإطار المؤسسي، الابتكار التكنولوجي.

The abstract :

This study investigates the main determinants of the energy transition in Algeria for the period of 1990-2023, with a particular focus on renewable energy consumption. Drawing on theoretical foundations and empirical evidence, the research examines the role of economic, institutional, and technological factors, including green technological innovation, foreign direct investment, financial development, trade openness, institutional quality, economic freedom, and economic growth.

To capture the complexity and nonlinearity of these relationships, the study employs advanced econometric techniques, notably the Multivariate Quantile-on-Quantile Regression (M-QQR), Wavelet Quantile Regression (WQR), and Continuous Wavelet Transform (CWT) causality analysis. These methods allow

for a detailed examination of heterogeneous effects across different levels of renewable energy consumption and across short-, medium-, and long-term horizons.

The empirical findings reveal that the energy transition in Algeria follows a multi-stage and nonlinear process. In the early stages, institutional quality, economic freedom, and economic growth play a key role in initiating renewable energy adoption. In the intermediate stages, green technological innovation and trade openness become more influential, while in the long run, sustained progress depends on technological capability and policy consistency. The results also show that foreign direct investment and financial development do not automatically support renewable energy unless they are effectively directed toward green sectors. In some cases, they may even reinforce carbon-intensive activities.

Overall, the study highlights the importance of coordinated and integrated policy frameworks. It suggests that achieving a sustainable energy transition in Algeria requires strengthening governance, promoting green finance, encouraging technological innovation, and aligning trade and investment policies with environmental objectives.

Key Words:

Energy Transition, **Renewable Energy**, **Sustainable Development**, **Energy Economics**, **Institutional Framework**, **Technological Innovation**.