

الهيدروجين الأخضر كخيار استراتيجي لتنويع الاقتصاد وتعزيز الاستثمار المستدام في الجزائر
- الفرص والتحديات -

**Green Hydrogen as a Strategic Option for Economic Diversification and Sustainable
- Opportunities and challenges - Investment in Algeria**

بوحيلة إلهام

جامعة محمد الصديق بن يحيى، جيجل (الجزائر)، ilhembouhebila@univ-jijel.dz

تاريخ النشر: 2025/11/25

تاريخ القبول: 2025/11/09

تاريخ الاستلام: 2025/09/28

ملخص:

يهدف هذا البحث إلى تحليل الدور الاستراتيجي للهيدروجين الأخضر في دعم الانتقال الطاقي وتنويع الاقتصاد الجزائري، من خلال دراسة الإمكانيات الوطنية في مجالات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، واستعراض مكونات سلسلة القيمة الاستثمارية، إضافة إلى تقييم الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر وخطوات الطريق المصاحبة لها. كما يسعى البحث إلى تحديد أبرز التحديات التقنية، المالية، والتنظيمية التي تواجه تنفيذ هذه الاستراتيجية، واقتراح آليات عملية لتعزيز جاذبية السوق الجزائرية أمام الاستثمارات المحلية والدولية.

أظهرت النتائج أن الجزائر تمتلك مؤهلات واعدة تجعلها فاعلاً محتملاً في سوق الهيدروجين الأخضر، بفضل مواردها الطبيعية الغنية، وبنيتها التحتية للغاز القابلة للتكييف، وموقعها الجغرافي القريب من أوروبا. غير أن تحقيق هذه الأهداف يتطلب إصلاحات تشريعية متكاملة، تعبئة موارد تمويل مبتكرة، وتطوير كفاءات بشرية متخصصة، إلى جانب توسيع الشراكات الدولية ونقل التكنولوجيا، بما يضمن تنفيذ الاستراتيجية الوطنية وتحويل الجزائر إلى مركز إقليمي ودولي لإنتاج وتصدير الهيدروجين الأخضر.

كلمات مفتاحية: الهيدروجين الأخضر، الانتقال الطاقي، الاستثمار المستدام، تنويع الاقتصاد، الاستراتيجية الوطنية.

تصنيف JEL: Q42، Q48، O13.

Abstract:

This study aims to analyze the strategic role of green hydrogen in supporting Algeria's energy transition and economic diversification. It examines the country's vast solar and wind potential, explores key investment opportunities along the green hydrogen value chain, and evaluates the National Green Hydrogen Strategy and its implementation roadmap. The research also identifies the main technical, financial, and regulatory challenges hindering the strategy's execution and proposes practical mechanisms to enhance Algeria's attractiveness for local and international investors.

The findings reveal that Algeria possesses strong comparative advantages to become a competitive green hydrogen producer, including abundant renewable resources, an extensive natural gas infrastructure adaptable for hydrogen transport, and a strategic geographic proximity to Europe. However, achieving these ambitions requires comprehensive legal reforms, innovative financing mechanisms, and the development of specialized human capital, alongside strengthened international partnerships and technology transfer to ensure the effective realization of the national strategy and Algeria's positioning as a regional and global green hydrogen hub.

Keywords: Green Hydrogen, Energy Transition, Sustainable Investment, Economic Diversification, National Strategy.

JEL Classification: Q42, Q48, O13

1. مقدمة:

في ظل التحول العالمي السريع نحو اقتصاد منخفض الكربون، أصبح الانتقال الطاقي محوراً أساسياً في سياسات الدول، خصوصاً تلك التي تسعى لتقليل اعتمادها على مصادر الطاقة التقليدية غير المتجددة، وذلك تماشياً مع الاتفاقيات الدولية التي تهدف إلى تحقيق توازن بين النمو الاقتصادي وحماية البيئة في إطار تنمية شاملة ومستدامة.

في هذا السياق، برز الهيدروجين الأخضر كأحد الحلول الواعدة لتحقيق هذه الأهداف، حيث يتم إنتاجه عبر تحليل الماء كهربائياً باستخدام طاقة متجددة مثل الشمس أو الرياح، مما يجعله صديقاً للبيئة وخالياً من الانبعاثات الكربونية. ويُعد هذا النوع من الهيدروجين وسيلة فعالة لتخزين ونقل الطاقة، ويساهم في تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري. كما يفتح آفاقاً جديدة للاستثمار وتنويع الاقتصاد، خصوصاً في البلدان التي تتمتع بموارد طاقة متجددة وموقع جغرافي مميز، مثل الجزائر. تتمتع الجزائر بموارد طاوية تقليدية وفيرة تُشكل ركيزة أساسية لاقتصادها الوطني، لكنها تواجه تحديات متعددة تتمثل في ضرورة الحفاظ على مكائنها في أسواق الطاقة العالمية، إلى جانب الحاجة الملحة لتنويع اقتصادها والحد من الآثار البيئية المرتبطة بالاعتماد على الوقود الأحفوري. ومن هذا المنطلق، اعتمدت الجزائر في عام 2023 استراتيجية وطنية شاملة لتطوير الهيدروجين الأخضر، تهدف إلى دعم التنمية المستدامة وتعزيز القدرة التنافسية للبلاد في سوق الطاقة المتجددة.

1.1 إشكالية البحث:

انطلاقاً من هذه المعطيات، يطرح هذا المقال الإشكالية الرئيسة التالية:

ما هو الدور الذي يمكن أن يلعبه الهيدروجين الأخضر في تعزيز الاستثمار المستدام وتنويع الاقتصاد الجزائري، وما هي الفرص والتحديات المرتبطة بهذا التحول الطاقي؟

2.1 أسئلة البحث:

انطلاقاً من التساؤل الرئيسي يمكن طرح التساؤلات الفرعية التالية:

- ما هي المفاهيم الأساسية والخصائص الرئيسية للهيدروجين الأخضر؟
- كيف يرتبط الهيدروجين الأخضر بأهداف التنمية المستدامة على المستوى الدولي؟
- ما هي المجالات الاستثمارية الواعدة في سلسلة قيمة الهيدروجين الأخضر، وكيف يمكن استثمارها في الجزائر؟
- ما هو الواقع الحالي لقطاع الهيدروجين الأخضر في الجزائر، وما هي آفاق تطوره المستقبلي؟
- ما هي التحديات التقنية، التمويلية، والتنظيمية التي تواجه تنفيذ الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر في الجزائر، وكيف يمكن معالجتها؟

3.1 فرضيات البحث:

انطلاقاً من التساؤلات السابقة يمكن اقتراح الفرضيات التالية:

- يتميز الهيدروجين الأخضر بمجموعة من المفاهيم والخصائص التي تجعله مصدراً للطاقة النظيفة ووسيلة فعالة لدعم الانتقال نحو اقتصاد منخفض الكربون.
- يرتبط الهيدروجين الأخضر ارتباطاً مباشراً بتحقيق أهداف التنمية المستدامة على المستوى الدولي من خلال دوره في خفض الانبعاثات وتعزيز كفاءة استخدام الموارد.

- توفر سلسلة قيمة الهيدروجين الأخضر مجالات استثمارية متعددة يمكن للجزائر استغلالها لتعزيز تنافسيتها الاقتصادية وتنويع مصادر دخلها.
- يشهد قطاع الهيدروجين الأخضر في الجزائر مرحلة تأسيسية، إلا أنه يمتلك إمكانات كبيرة للنمو والتطور على المدى القريب والبعيد.
- تواجه الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر في الجزائر تحديات تقنية، تمويلية، وتنظيمية، يمكن تجاوزها عبر تبني سياسات داعمة، وتعزيز التعاون الدولي، وتطوير القدرات المحلية.

4.1 أهداف البحث:

يهدف هذا البحث إلى ما يلي:

- توضيح المفاهيم الأساسية للهيدروجين الأخضر وأنواعه وخصائصه.
- إبراز العلاقة بين الهيدروجين الأخضر وأهداف التنمية المستدامة.
- تحليل الفرص الاستثمارية في سلسلة قيمة الهيدروجين الأخضر.
- تقييم واقع وآفاق تطوير هذا القطاع في الجزائر.
- تحديد التحديات واقتراح توصيات عملية لتجاوزها.

5.1 منهجية البحث: تم الاعتماد على المنهج الوصفي التحليلي، من خلال مراجعة الأدبيات والتقارير ذات الصلة، وتحليل التوجهات الإستراتيجية للجزائر، ومقارنتها بالتجارب الدولية الرائدة.

2. أساسيات حول الهيدروجين الأخضر:

يمثل الهيدروجين الأخضر أحد أبرز الابتكارات في منظومة الطاقة المستدامة، إذ يجمع بين خصائص تقنية وبيئية تمنحه مكانة متقدمة في مزيج الطاقة المستقبلي، ما يجعله أداة استراتيجية لدعم التحول الطاقوي.

1.2 إنتاج الهيدروجين الأخضر:

يمكن إنتاج الهيدروجين بطرق متعددة، من أبرزها التحليل الكهربائي للماء. ويُصنّف الهيدروجين وفقاً لمستوى انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المصاحبة لعملية إنتاجه، إلى ثلاثة أنواع رئيسية كما يلي:¹

- **الهيدروجين الرمادي:** يتم إنتاجه بالاعتماد على الطاقة المنتجة من الوقود الأحفوري، والتي تضم مستويات عالية من انبعاثات الكربون، لكن هذه العملية تتسبب بقدر هائل من التلوث لأنها تنتج ما يعادل 11 طن من ثاني أكسيد الكربون لكل 1 طن من الهيدروجين المنتج² (Stefan Drenkard, 2021).

- **الهيدروجين الأزرق:** هو الهيدروجين المنتج بالاعتماد على الغاز الطبيعي أو الفحم، مع تطبيق تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه أو تخزينه للحد من الانبعاثات الناتجة عن عملية الإنتاج. وتسمح هذه التقنيات باحتجاز ما بين 50% و90% من ثاني أكسيد الكربون المنبعث، مما يجعله خياراً انتقالياً منخفض الكربون³.

- **الهيدروجين الأخضر:** يُنتج عبر التحليل الكهربائي للماء باستخدام الكهرباء المولدة بالكامل من مصادر الطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، ويُعد الخيار الأمثل بيئياً، نظراً لدوره البارز في دعم التحول الطاقوي المستدام وتعزيز التنمية الاقتصادية⁴. من خلال ما سبق يمكن تلخيص الأنواع الثلاثة للهيدروجين في الشكل الموالي:

الشكل رقم (1): المقارنة بين أنواع الهيدروجين الثلاثة من حيث مصدر الطاقة والأثر الكربوني



Source: Author's elaboration based on Drenkard, S., & Mirakyan, A. (2021, November). Exploratory study on the potential of Power-to-X (green hydrogen) for Algeria ,Report for Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ] GmbH & Tractebel/Engie, p. 19

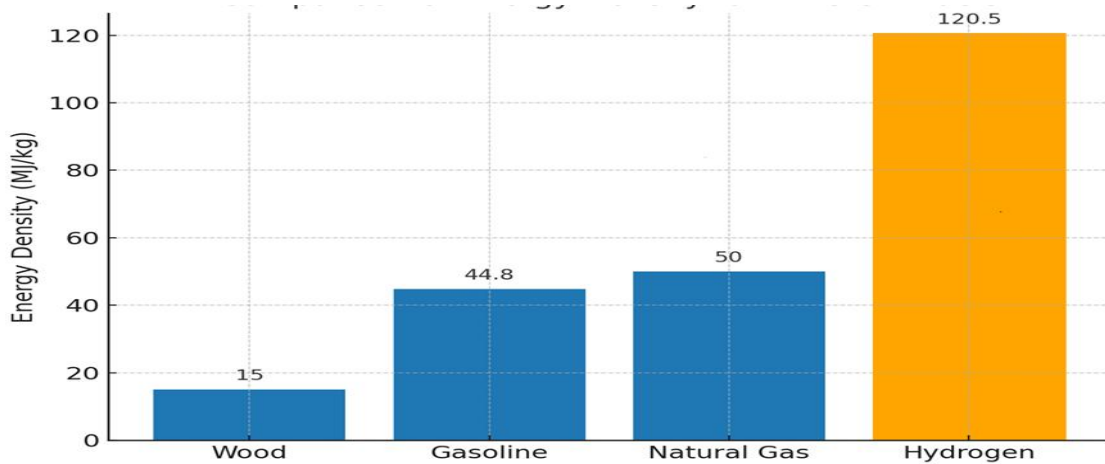
إلى جانب هذه الأنواع، ظهرت أصناف أخرى أقل انتشاراً مثل الهيدروجين الأرجواني أو الأحمر الناتج من الكهرباء النووية ذي الحيداد الكربوني، والهيدروجين الفيروزي المتولد عن التحلل الحراري للمركبات الهيدروكربونية مع إنتاج الكربون الصلب بدلاً من ثاني أكسيد الكربون، وهي خيارات تكميلية يمكن أن تعزز مزيج الطاقة المستقبلي.

2.2 خصائص الهيدروجين كحامل للطاقة:

2.2.1 الخصائص المميزة للهيدروجين: تمثل أهم خصائص الهيدروجين الأخضر في ما يلي:

- يتميز الهيدروجين بمجموعة من الخصائص الفيزيائية والكيميائية التي تجعله وقوداً ذا قيمة عالية في منظومة الطاقة المستقبلية. من أبرز هذه الخصائص كثافته الطاقوية النوعية، حيث تبلغ قدرته الحرارية نحو 120.5 ميغاجول/كغ، أي ما يقارب ثلاثة أضعاف القدرة الحرارية للبترين، ويتفوق بشكل واضح على الخشب (15 ميغاجول/كغ) والغاز الطبيعي (50 ميغاجول/كغ)، كما يظهر في الشكل التالي:

الشكل رقم (2): مقارنة الكثافة الطاقوية لمصادر وقود مختلفة



Source: Author's elaboration based on Drenkard, S., & Mirakyan, A. (2021, November). Exploratory study on the potential of Power-to-X (green hydrogen) for Algeria ,Report for Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ] GmbH & Tractebel/Engie, p. 19

- إضافة إلى ذلك، لا ينتج عن احتراق الهيدروجين أي انبعاثات لغازات دفيئة، إذ يقتصر ناتج تفاعله مع الأكسجين على بخار الماء، مما يجعله وقوداً نظيفاً وصديقاً للبيئة. وتتيح هذه الخاصية استخدامه في تطبيقات متعددة مثل النقل، والتدفئة والتبريد، وتوليد الكهرباء، وإنتاج الأمونيا والأسمدة⁵.

- كما يمكن للهيدروجين المساهمة في دمج مصادر الطاقة المتجددة ضمن الشبكة الكهربائية، إذ يمكن تخزينه واستخدامه لاحقاً لتغطية الطلب عند انخفاض إنتاج الكهرباء من المصادر المتجددة، مما يوفر حلاً عملياً لتخزين الطاقة على المدى الطويل وضمان استقرار الإمدادات⁶.

- يمكن إنتاج الهيدروجين من مصادر متنوعة، سواء متجددة أو تقليدية، كما يمكن تحويله إلى منتجات متعددة لأغراض طاغوية، مما يمنح مرونة في تلبية الاحتياجات الطاقوية المتغيرة⁷.

2.2. الهيدروجين كحامل للطاقة:

على الرغم من مكانته المتنامية في مستقبل الطاقة العالمي، يُصنّف الهيدروجين بوصفه حاملاً للطاقة (Energy Carrier) وليس مصدراً للطاقة (Energy Source) ويعود ذلك إلى عدة اعتبارات أساسية تتمثل في ما يلي⁸:

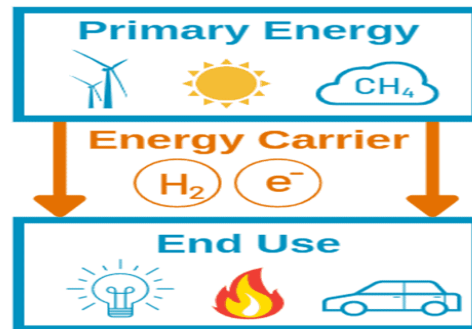
- من حيث الإنتاج: لا يوجد الهيدروجين في الطبيعة بكميات حرة تكفي لتلبية الاحتياجات، بخلاف ما هو الحال مع الفحم أو النفط أو الغاز الطبيعي. لذا، يتم الحصول عليه غالباً من خلال التحليل الكهربائي للماء أو عبر إعادة تشكيل الغاز الطبيعي، وهي عمليات تحتاج إلى طاقة أولية يتم توفيرها من مصادر خارجية.

- التخزين والنقل: يمكن إنتاج الهيدروجين باستخدام الكهرباء من مصادر متجددة ثم تخزينه أو تحويله إلى وقود لاستخدامه لاحقاً، ما يجعله وسيلة فعالة لتخزين الطاقة الفائضة ونقلها إلى مناطق الاستهلاك.

- تحويل الطاقة: يُستخدم الهيدروجين لتوليد الكهرباء عبر خلايا الوقود أو كوقود في وسائل النقل والصناعة، لكنه لا ينتج الطاقة بذاته، بل ينقل الطاقة التي تم استثمارها في إنتاجه.

وبذلك، يمثل الهيدروجين حلقة وصل بين إنتاج الطاقة المتجددة واستهلاكها، كما يبين الشكل التالي موقعه في المنظومة الطاقوية المستدامة:

الشكل رقم (3): الهيدروجين كناقل للطاقة ودوره في المنظومة الطاقوية



Source: Feider-Blazer, E. (2022, November 17). What hydrogen means for the gas industry, Part I. Sensus Blog, Xylem. Retrieved from <https://www.xylem.com/en-us/brands/sensus/blog/what-hydrogen-means-for-the-gas-industry-part-i/>

يوضح الشكل موقع الهيدروجين كأحد النواقل الطاقوية الاستراتيجية في المنظومات المستدامة، ودوره في تنويع مزيج الطاقة وتوسيع إدماج الطاقات المتجددة في الشبكات الكهربائية، بما يساهم في بلوغ أهداف الحياد الكربوني على المدى الطويل.

3.2 دوافع الاتجاه نحو الهيدروجين الأخضر:

يقوم الاهتمام العالمي بالهيدروجين الأخضر على مجموعة من العوامل التي جعلت منه خياراً واعداً مقارنة بالأنواع الأخرى من الهيدروجين. والجدول التالي يوضح أهم الأسباب التي تفسر التوجه المتزايد نحو هذا العنصر الطاقوي:

الجدول رقم (01): الدوافع الرئيسية للتوجه نحو الهيدروجين الأخضر

المصدر	أمثلة وأرقام	الدوافع الرئيسية	البعد
IEA, Global Hydrogen Review 2021	- يمكن للهيدروجين أن يساهم في تقليل 6 غيغا طن CO ₂ بحلول 2050 إذا استخدم على نطاق واسع	- خفض الانبعاثات الكربونية - دعم الحياض الكربوني بحلول 2050	بيئي
European Commission, REPowerEU Plan 2022	- الاتحاد الأوروبي يخطط لاستيراد 10 ملايين طن من الهيدروجين الأخضر بحلول 2030 - دول مثل الجزائر يمكن أن تصبح مورداً رئيسياً	- تعزيز أمن الطاقة - تنويع الاقتصاد الوطني - خلق أسواق تصدير جديدة	اقتصادي- استراتيجي
IRENA, Hydrogen: A Renewable Energy Perspective 2019	- كفاءة التخزين بالهيدروجين تتراوح بين 30-40% لكنها تمكن من حفظ الطاقة لأشهر، وهو ما لا توفره البطاريات	- حل مشكلة تذبذب الطاقات المتجددة عبر التخزين - ربط الشبكات الكهربائية العابرة للحدود	تكنولوجي- انتقالي

المصدر: من إعداد الباحثة بالاعتماد على المصادر المذكورة في الجدول

يتضح من خلال الجدول أن دوافع الاتجاه نحو الهيدروجين الأخضر تنوزع بين أبعاد بيئية واقتصادية وتكنولوجية واستراتيجية دولية. فهو يساهم في خفض الانبعاثات، ويفتح فرصاً لتنويع الاقتصاد عبر أسواق تصديرية جديدة، كما يدعم دمج الطاقات المتجددة بفضل قدرته على التخزين، ويعزز موقع الجزائر كفاعل محوري في الانتقال الطاقوي الإقليمي.

4.2 تكامل الهيدروجين الأخضر مع أهداف التنمية المستدامة:

يمثل الهيدروجين الأخضر أحد الحلول المبتكرة لتحقيق التنمية المستدامة، إذ يجمع بين الأبعاد البيئية والاقتصادية والاجتماعية في آن واحد. هذا الطابع التكاملي يجعله مرتبطاً مباشرة بعدد من أهداف التنمية المستدامة السبعة عشر ضمن أجندة الأمم المتحدة 2030، كما يوضح الجدول التالي:

الجدول رقم (2): ارتباط الهيدروجين الأخضر بأهداف التنمية المستدامة

أهداف التنمية المستدامة	مساهمة الهيدروجين الأخضر	أمثلة تطبيقية مرتبطة بالجزائر
الهدف 7: طاقة نظيفة وبأسعار معقولة	- تعزيز حصة الطاقات المتجددة في مزيج الطاقة. - تخزين فائض الكهرباء الشمسية والريحية وتحويله إلى وقود قابل للنقل والتصدير. - تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.	- استغلال الإشعاع الشمسي العالي لإنتاج الكهرباء الخضراء. - مشاريع سوناطراك والشراكات الجزائرية الأوروبية لتطوير محطات التحليل الكهربائي.
الهدف 9: الصناعة والابتكار والبنية التحتية	- تطوير تكنولوجيا التحليل الكهربائي والتخزين والنقل. - تحديث البنية التحتية الطاقوية والصناعية. - خلق سلاسل قيمة جديدة مرتبطة بالهيدروجين.	- إدماج الهيدروجين الأخضر في الصناعات الكيماوية (الأمونيا والأسمدة). - مشاريع موانئ الجزائر لتجهيز بنات التصدير نحو أوروبا.
الهدف 12: الاستهلاك والإنتاج المسؤول	- استبدال الهيدروجين الرمادي عالي الانبعاثات ببديل نظيف. - خفض البصمة البيئية للصناعات الثقيلة. - تحقيق توازن بين النمو الاقتصادي والاعتبارات البيئية.	دعم التحول في استهلاك الطاقة بالمركبات الثقيلة.
الهدف 13: العمل المناخي	- تقليل الانبعاثات في القطاعات "الصعبة الخفض" (الصلب، النقل البحري والجوي). - الإسهام في استراتيجيات الحياض الكربوني طويلة الأمد. - تعزيز قدرة الدول على الوفاء بالتزاماتها المناخية.	- إدراج الهيدروجين في الإستراتيجية الوطنية الجزائرية للطاقات المتجددة - المساهمة في التزامات الجزائر في إطار اتفاق باريس للمناخ.

Source : Author's elaboration based on :

- United Nations. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations.
- Ministry of Energy Transition and Renewable Energies. (2022). National Strategy for Green Hydrogen. Algiers, Algeria.

يوضح الجدول أن القيمة المضافة للهيدروجين الأخضر تكمن في قدرته على الانتقال من مجرد خيار طاقي بديل إلى رافعة عملية لتحقيق التكامل بين الأبعاد المختلفة للتنمية المستدامة، مما يمنحه بعداً استراتيجياً في أي سياسة طاقة مستقبلية.

3. المجالات الاستثمارية الأساسية في سلسلة القيمة للهيدروجين الأخضر:

يمثل الهيدروجين الأخضر قطاعاً استثمارياً متعدد المستويات، إذ تتوزع فرص التمويل عبر سلسلة قيمة مترابطة تبدأ من البحث والتطوير، مروراً بعمليات الإنتاج والبنية التحتية، وصولاً إلى التخزين والنقل، ثم الاستثمارات النهائية في الصناعة والطاقة والنقل. ويعكس هذا الامتداد الشامل قدرة الهيدروجين الأخضر على خلق اقتصاد طاقي متكامل يستقطب رؤوس الأموال الوطنية والدولية.

1.3 فرص الاستثمار في البحث والتطوير

يُعد الاستثمار في البحث والتطوير حجر الزاوية لتحسين كفاءة تقنيات الهيدروجين الأخضر، ورفع تنافسيتها عالمياً. ويشكل هذا الاستثمار أساساً لتخفيض التكاليف، وتعزيز الأداء، وتوطين التكنولوجيا. وتبرز أهم مجالات الاستثمار في هذا المحور من خلال:

الجدول رقم (3): فرص الاستثمار في البحث والتطوير

المجال	الفرصة الاستثمارية	المستثمرون المحتملون	الأثر المتوقع
التحليل الكهربائي	تطوير تقنيات التحليل الكهربائي عالية الكفاءة لخفض استهلاك الطاقة والمياه	الجامعات، شركات التكنولوجيا، صناديق رأس المال المخاطر	تقليل تكلفة إنتاج الكيلوغرام من H ₂ وزيادة القدرة التنافسية
التخزين	حلول تخزين مبتكرة (خزانات مركبة، مواد ماصة) لزيادة الأمان وخفض التكاليف	شركات البتروكيماويات، شركات المواد المركبة	تحسين أمان التوريد ودعم التجارة عبر الحدود
النقل	تطوير مواد مقاومة للهشاشة الهيدروجينية وأنظمة مراقبة ذكية لشبكات الأنابيب	شركات البنية التحتية، مراكز البحث	رفع موثوقية الشبكات وتوسيع البنية التحتية
الاستخدام الصناعي	ابتكارات تطبيقية (الصلب الأخضر، الأمونيا الخضراء) لتوسيع الأسواق	شركات تصنيع، شركات دولية	خلق طلب جديد وجذب استثمارات صناعية كبرى

Source : Author's elaboration based on IEA (2024), Global Hydrogen Review 2024, and IRENA (2022), Green Hydrogen: A Guide to Policy Making.

يبين الجدول أن مجالات البحث والتطوير في الهيدروجين الأخضر لا تقتصر على تحسين الكفاءة التقنية، بل تحمل أبعاداً استراتيجية أعمق، إذ يشكل الابتكار في التحليل الكهربائي مدخلاً لخفض التكاليف وتعزيز الجدوى الاقتصادية، بينما يتيح تطوير التخزين والنقل بناء معايير جديدة للبنية التحتية العالمية للطاقة، ويسهم التوسع في الاستخدامات الصناعية في إعادة تشكيل سلاسل القيمة وفتح أسواق استثمارية واعدة. وبذلك، فإن البحث والتطوير لا يُعد مجرد رافعة تكنولوجية، بل يمثل أيضاً أداة إستراتيجية لإعادة تموقع الدول والشركات في مشهد الطاقة العالمي⁹.

2.3 فرص الاستثمار في إنتاج الهيدروجين الأخضر:

يمثل قطاع إنتاج الهيدروجين الأخضر محوراً أساسياً لسلسلة القيمة، حيث تتنامى فيه فرص الاستثمار المرتبطة بالبنية التحتية والتقنيات الصناعية. ويبرز في هذا المجال عدد من المسارات الواعدة، من بينها:

الجدول رقم (4): فرص الاستثمار في إنتاج الهيدروجين الأخضر

المجال	الفرصة الاستثمارية	الفاعلون الرئيسيون (مستثمرون محتملون)	الأثر الاستراتيجي المتوقع
الطاقة الشمسية	إنشاء محطات طاقة شمسية كهروضوئية مخصصة للتحليل الكهربائي	شركات الطاقة المتجددة، المستثمرون الدوليون	استغلال الإمكانات الشمسية الجزائرية وتعزيز القدرة التصديرية
طاقة الرياح	تطوير مزارع رياح لإمداد وحدات التحليل الكهربائي	شركات الكهرباء، الشركات الأجنبية	تنويع مصادر الطاقة وتقليل الاعتماد على مورد واحد
التحليل الكهربائي	تصنيع ونشر أجهزة التحليل الكهربائي عالية الكفاءة	شركات التكنولوجيا، المؤسسات الصناعية	خفض تكاليف الإنتاج وزيادة الجدوى الاقتصادية
المياه	إنشاء محطات لتحلية مياه البحر لتزويد التحليل الكهربائي	شركات المياه، صناديق الاستثمار الأخضر	ضمان استدامة الموارد المائية ودعم التوسع طويل المدى

Source: Author's elaboration based on IEA (2023). Global Hydrogen Review 2023. International Energy Agency. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>

يمثل الاستثمار في إنتاج الهيدروجين الأخضر خياراً استراتيجياً يحمل أبعاداً متكاملة. فمن جهة، يمكن الاستفادة من وفرة الطاقة الشمسية والريحية لتوليد كهرباء بتكاليف منخفضة، وهو ما يوفر قاعدة صلبة لتوسيع مشاريع التحليل الكهربائي. ومن جهة أخرى، فإن التوجه نحو إنشاء وحدات محلية لإنتاج المحللات الكهربائية يساهم في تقليص تكاليف هذه التقنية.

3.3 فرص الاستثمار في تخزين الهيدروجين الأخضر:

يتم تخزين الهيدروجين الأخضر بعدة طرق تتمثل أساساً في ما يلي¹⁰:

- التخزين الغازي: من خلال ضغط الهيدروجين في أسطوانات أو خزانات معدنية
- التخزين السائل: والذي يتم عن طريق تبريد الهيدروجين إلى -253 درجة مئوية
- التخزين الكيميائي: عبر مركبات مثل الأمونيا والميثانول.

تمثل مرحلة التخزين تحدياً تقنياً ومالياً، إلا أنها ضرورية لتوفير الهيدروجين عند الحاجة وتسهيل التجارة عبر الحدود. وبما أن الهيدروجين الأخضر يعتمد على الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وهما من مصادر الطاقة غير المتوفرة باستمرار فإن التخزين ضروري لضمان التوازن في التوريد. أما الفرص الاستثمارية الخاصة بهذه المرحلة فتتمثل في ما يلي:

الجدول رقم (5): فرص الاستثمار في تخزين الهيدروجين الأخضر

المجال	الفرصة الاستثمارية	الفاعلون الرئيسيون (مستثمرون محتملون)	الأثر الاستراتيجي المتوقع
خزانات الضغط	تطوير جيل جديد من الخزانات خفيفة الوزن وعالية الأمان للهيدروجين المضغوط	شركات المواد المركبة، البتروكيماويات	خفض تكاليف التخزين وتحسين سلامة النقل
التسييل	إنشاء وحدات صناعية لتسييل الهيدروجين عند -253°م لزيادة الكثافة الطاقوية	شركات الطاقة والتبريد الصناعي	تعزيز تجارة الهيدروجين السائل عبر الحدود
المشتقات الكيميائية	إنتاج الأمونيا والميثانول كحاملات طاقة للهيدروجين	شركات الكيماويات، الشحن البحري	تسهيل النقل الدولي وتوسيع فرص التصدير
البنية التحتية اللوجستية	تجهيز الموانئ ومحطات الشحن لتداول الهيدروجين ومشتقاته	شركات الموانئ، الشحن، التمويل الأخضر	إدماج الهيدروجين في سلاسل القيمة العالمية

Source : Author's elaboration based on:

-(IEA). (2021). Global hydrogen review 2021. Paris: IEA. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>

-(IRENA). (2022). Green hydrogen: A guide to policy making (2nd ed.). Abu Dhabi: IRENA. Retrieved from: <https://www.irena.org/publications/2022/Mar/Green-Hydrogen-A-Guide-to-Policy-Making&>

يبين الجدول أن الاستثمار في تخزين الهيدروجين الأخضر يمثل عنصراً استراتيجياً لا يُنظر إليه كحل تقني فحسب، بل كمجال شامل يجذب المستثمرين من صناعات المواد المركبة، والطاقة، واللوجستيات. فنرى أن تطوير خزانات الضغط الخفيف يمثل فرصة لشركات البتروكيماويات لمواكبة متطلبات السلامة، وأن صناعة وحدات التسييل تفتح آفاقاً لأنشطة صناعية متقدمة في التبريد والتحول. كما أن تحويل الهيدروجين إلى أمونيا أو ميثانول يوفر مسارات مفضلة للتخزين والنقل، وهو ما يجذب شركات الكيماويات والشحن البحري. من ناحية أخرى، تعدّ البنية التحتية اللوجستية في الموانئ حلقة مهمة لربط الإنتاج بالأسواق الدولية.

4.3 فرص الاستثمار في نقل وتوزيع الهيدروجين الأخضر:

يتم نقل وتوزيع الهيدروجين غالباً بإحدى الطرق التالية:

- أنابيب الهيدروجين، حيث يمكن إعادة استخدام شبكات توزيع الغاز الطبيعي أو إنشاء بنية تحتية خاصة بنقل الهيدروجين
 - شاحنات خاصة لنقل الهيدروجين المسال أو المضغوط
 - نقل الهيدروجين في شكل مركّبات كيميائية كالأمونيا والميثانول
- تظهر الفرص الاستثمارية الخاصة بمرحلة النقل والتوزيع في ما يلي:

الجدول رقم (6): فرص الاستثمار في نقل وتوزيع الهيدروجين الأخضر

مجال الاستثمار	طبيعة النشاط	المستثمرون المحتملون	الأثر المتوقع
خطوط الأنابيب	إنشاء شبكات أنابيب محلية وإقليمية	شركات أنابيب، هيئات حكومية	خفض تكاليف النقل وتعزيز التجارة الإقليمية
محطات التزويد بالنقل	محطات هيدروجين للشاحنات والحافلات	شركات النقل، البلديات	تطوير النقل النظيف وتوسيع السوق المحلي
الموانئ والشحن البحري	نقل مشتقات الهيدروجين (الأمونيا/الميثانول)	شركات شحن، موانئ دولية	تسهيل التصدير للأسواق العالمية

Source: Author's elaboration based on European Hydrogen Backbone (2022), A European Hydrogen Infrastructure Vision Covering 28 Countries. <https://ehb.eu>

يشير الجدول إلى أن الاستثمار في نقل وتوزيع الهيدروجين الأخضر يتميز بتنوّع في مجالاته، إذ يجمع بين البنية التحتية البرية والبحرية على حد سواء. فمن ناحية، تشكّل شبكات الأنابيب الركيزة الأساسية لتطوير سوق محلي وإقليمي قادر على تلبية الطلب المتنامي. ومن ناحية أخرى، تمثل محطات التزويد بالهيدروجين عنصراً محورياً لدعم قطاع النقل الثقيل، مثل الشاحنات والحافلات، والمساهمة في تقليل الانبعاثات الكربونية. أما على المستوى الدولي، فيعدّ استغلال الموانئ ومرافق الشحن البحري لنقل مشتقات الهيدروجين، كالأمونيا، خياراً استراتيجياً للوصول إلى الأسواق الأوروبية والآسيوية. وفي هذا الإطار، يمنح الموقع الجغرافي للجزائر قرباً تنافسياً من أوروبا يؤهلها لتولي دور محوري في تجارة الطاقة النظيفة العابرة للحدود.

5.3 الاستثمار في استعمالات النهائية للهيدروجين الأخضر:

يمثل الاستثمار في الاستخدامات النهائية للهيدروجين الأخضر رافعة استراتيجية لتوسيع الطلب العالمي، إذ تتجاوز أهميته مرحلة الإنتاج لتشمل تطبيقات صناعية ونقل وتوليد كهرباء. ويُعد هذا المجال من أكثر المسارات جذباً للاستثمار نظراً لدوره في خفض الانبعاثات الكربونية وتحقيق الاستدامة في قطاعات اقتصادية متنوعة. وفي ما يلي أهم الفرص الاستثمارية الخاصة بمرحلة الاستعمال النهائي:

الجدول رقم(7): الاستثمار في استعمالات النهائية للهيدروجين الأخضر

القطاع	مجالات التطبيق	الفرص الاستثمارية	الأثر المتوقع
الصناعة	الصلب الأخضر، الأمونيا الخضراء، البتروكيماويات	إنشاء مصانع للصلب الأخضر، وحدات إنتاج أمونيا خضراء، تطوير حلول بتروكيماوية نظيفة	خفض الانبعاثات وتعزيز القدرة التنافسية
النقل	الشاحنات، الحافلات، القطارات، الطيران	محطات تزويد بالهيدروجين، تصنيع مركبات بخلايا وقود، تطوير طائرات تعتمد على الهيدروجين	إزالة الكربون من النقل الثقيل
إنتاج الكهرباء	التوربينات المعدلة، محطات احتياطية، خلايا وقود	تعديل محطات الكهرباء، الاستثمار في خلايا وقود متزلية وصناعية، بناء محطات احتياطية	استقرار الشبكات وتخزين الطاقة المتجددة

source: Author's elaboration based on IEA (2022), Global Hydrogen Review 2022, International Energy Agency, Paris. Retrieved from :<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>

يبين الجدول أنّ الاستثمار في الاستعمالات النهائية للهيدروجين الأخضر يمثل محوراَ استراتيجياً لتوسيع نطاق الطلب العالمي، إذ يفتح المجال أمام تطبيقات متقدمة في قطاعات الصناعة والنقل وإنتاج الكهرباء. ففي المجال الصناعي، يتيح تطوير مشاريع مثل الصلب الأخضر والأمونيا الخضراء والبتروكيماويات النظيفة فرصة حقيقية لخفض الانبعاثات الكربونية وتعزيز القدرة التنافسية للصناعات الثقيلة. أما في قطاع النقل، فإن الاستثمار في محطات التزويد بالهيدروجين وتصنيع المركبات العاملة بخلايا الوقود يشكل خطوة أساسية لإزالة الكربون من النقل الثقيل، بما يشمل الشاحنات، الحافلات، القطارات، وحتى الطيران. وعلى مستوى إنتاج الكهرباء، يوفر الهيدروجين حلاً مرناً لتخزين الطاقة المتجددة وتشغيل محطات احتياطية أو توربينات معدلة، ما يعزز استقرار الشبكات الكهربائية. وبذلك، تتجاوز أهمية هذه الاستعمالات البعد البيئي لتسهم في خلق أسواق جديدة، وجذب استثمارات صناعية كبرى، وتوفير وظائف نوعية تدعم التحول نحو اقتصاد منخفض الكربون.

4. واقع وآفاق الاستثمار في الهيدروجين الأخضر بالجزائر

تعد الجزائر من النماذج الواعدة لتطوير اقتصاد الهيدروجين الأخضر نظراً لموقعها الجغرافي وإمكاناتها الطاقوية، وارتباطها القاري بأوروبا. سنحاول في هذا العنصر تحديد واقع وآفاق الجزائر في الاستثمار في الهيدروجين الأخضر من خلال تحليل القدرات الاستثمارية والعملية للجزائر في هذا المجال.

1.4 إمكانات الجزائر في مجال الهيدروجين الأخضر:

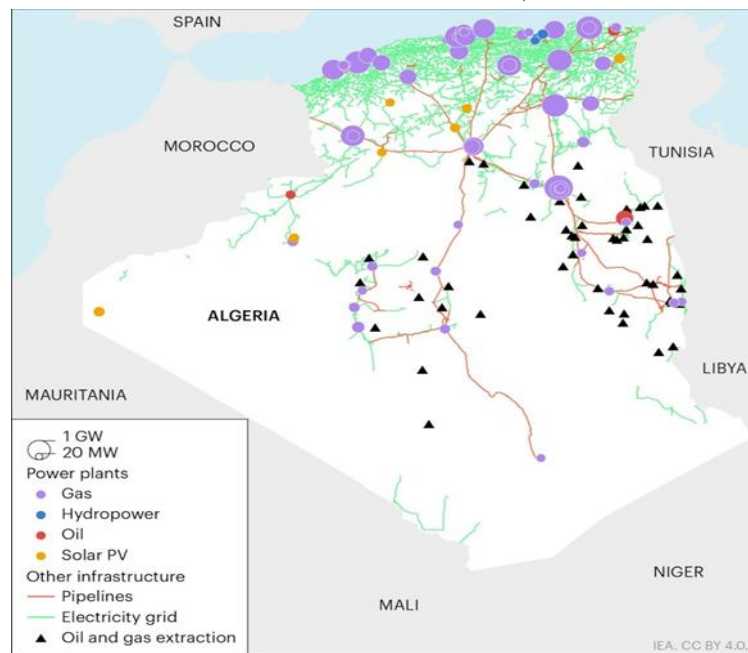
تمتلك الجزائر موارد متجددة استثنائية تجعلها من أكثر الدول تأهيلاً لإنتاج الهيدروجين الأخضر في منطقة المتوسط. فهي تحظى بأحد أعلى معدلات الإشعاع الشمسي عالمياً، إذ يتجاوز عدد ساعات السطوع 3,000 ساعة سنوياً، مع طاقة شمسية تُقدَّر بنحو 1,700 ك.و.س/م² في الشمال و2,263 ك.و.س/م² في الجنوب¹¹. تملك الجزائر أيضاً مناطق ملائمة لإنتاج طاقة الرياح خاصة في الهضاب العليا والمناطق الساحلية. كما توفر الهضاب العليا والمناطق الساحلية ظروفاً ملائمة

لإنتاج طاقة الرياح، فيما يسمح امتداد الأراضي الجزائرية (أكثر من مليوني كلم²) بإنشاء مزارع شمسية وريحية واسعة دون ضغط على المساحات الزراعية أو الحضرية.

يُعد قرب الجزائر الجغرافي من أوروبا ميزة استراتيجية مهمة، خاصة أن الاتحاد الأوروبي يضع أهدافاً طموحة لتحقيق الحياد الكربوني بحلول عام 2050، ويخطط لاعتماد الهيدروجين الأخضر كمصدر رئيسي للطاقة النظيفة. هذا الموقع يجعلها في وضع مميز لتكون مورداً موثوقاً للهيدروجين نحو القارة الأوروبية، عبر شبكات نقل مستقبلية مثل مشروع European Hydrogen Backbone، وخطط الربط الطاقوي بين ضفتي المتوسط. كما أن مذكرة التفاهم الثلاثية الموقعة في يوليو 2022 بين الجزائر وألمانيا والاتحاد الأوروبي تهدف إلى تعزيز التعاون في مجالات الطاقة، وعلى رأسها الهيدروجين الأخضر، مما يُعزز من جاذبية الجزائر كمركز إقليمي لإنتاج وتصدير هذا المورد¹².

تملك الجزائر بنية تحتية متطورة خاصة بالغاز الطبيعي تضم شبكة واسعة من خطوط الأنابيب العابرة للحدود (مثل ميدغاز وأنبوب ترانس ميد) التي تربطها بأوروبا. يمكن إعادة تهيئة هذه البنية التحتية لنقل الهيدروجين الأخضر أو مزيجه مع الغاز الطبيعي، مما يقلل بشكل كبير من تكاليف النقل ويسهل الوصول إلى الأسواق الأوروبية المستهدفة. هذا ما يُعرف بـ "ممر الهيدروجين الجنوبي"¹³. ويمكن تلخيص البنية التحتية للطاقة في الجزائر في ما يلي:

الشكل رقم (4): البنية التحتية للطاقة في الجزائر



Source : International Energy Agency (IEA). (2025, July 3). National Climate Resilience Assessment for Algeria. IEA. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/national-climate-resilience-assessment-for-algeria>

تُبرز الخريطة تداخل الإمكانات الشمسية الواسعة في الجزائر مع شبكة أنابيب الغاز والموانئ البحرية، ما يوفر قاعدة جاهزة لإطلاق مشاريع الهيدروجين الأخضر. فالمناطق الجنوبية والشرقية تتميز بأعلى معدلات الإشعاع الشمسي، في حين تمثل خطوط الأنابيب العابرة للمتوسط (ميدغاز و ترانس ميد) ممراً استراتيجياً لنقل الهيدروجين أو مشتقاته إلى أوروبا بتكاليف تنافسية. كما يمنح القرب الجغرافي من السوق الأوروبية الجزائر أفضلية لتطوير مشاريع تصديرية بسرعة، مع إمكانية استخدام البنية الحالية لتقليل استثمارات النقل والتخزين.

2.4 الاستراتيجية الوطنية لتطوير الهيدروجين الأخضر في الجزائر:

أطلقت الجزائر في مارس 2023 الاستراتيجية الوطنية لتطوير الهيدروجين مع التركيز على الهيدروجين الأخضر للفترة 2023-2040، وهي خارطة طريق تهدف إلى تمكين البلاد من التمتع كأحد أبرز الفاعلين في سوق الهيدروجين الأخضر إقليمياً ودولياً، مع التركيز على السوق الأوروبية. تستند هذه الاستراتيجية إلى استغلال وفرة الطاقات المتجددة (الشمسية وطاقة الرياح)، والاستفادة من البنية التحتية لأنابيب الغاز، إضافة إلى الموقع الجغرافي المتميز الذي يجعل من الجزائر جسراً للطاقة بين إفريقيا وأوروبا.

1.2.4 مراحل الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر في الجزائر: تسعى الجزائر من خلال هذه الاستراتيجية إلى إنتاج ما بين 30 إلى 40 تيراواط ساعة TWh من الهيدروجين سنوياً بحلول عام 2040، وتصدير ما يقارب 1 مليون طن سنوياً من الهيدروجين الأخضر، وهو ما يعادل نحو 10% من احتياجات الاتحاد الأوروبي المتوقعة في هذا المجال.

لتحقيق ذلك، تخطط الجزائر لإنشاء قدرات تحليل كهربائي تبلغ حوالي 10 غيغاواط بحلول التاريخ نفسه، مع استثمار إجمالي يقدر بـ 25 مليار دولار أمريكي¹⁴. ويتم ذلك عبر ثلاث مراحل أساسية:

- المرحلة التجريبية (2023-2030) وتشمل وضع الإطار التنظيمي، تنفيذ مشاريع نموذجية، وتقييم الجدوى التقنية والاقتصادية.

- مرحلة التوسع السوقي (2030-2040)، ويتم خلالها رفع القدرات الإنتاجية، وتوسيع البنية التحتية لنقل وتخزين الهيدروجين.

- مرحلة التصنيع والتصدير (بعد 2040)، وفيها يتم التركيز على التصدير المكثف، والتصنيع المحلي لمكونات التكنولوجيا مثل المحللات الكهربائية¹⁵.

2.2.4 المحاور الأساسية للاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر في الجزائر: تركز الاستراتيجية الوطنية على ستة محاور رئيسية:

- **الإطار القانوني والتنظيمي:** يشكّل تطوير منظومة قانونية وتنظيمية مرنة وشفافة الركيزة الأولى للاستراتيجية، بهدف تكييف التشريعات الجزائرية مع التطورات العالمية في قطاع الطاقات الجديدة وتوفير مناخ استثماري جاذب. وتشمل هذه الجهود¹⁶:

- سن قوانين وتشريعات خاصة بالهيدروجين منخفض الكربون سواء الهيدروجين الأخضر أو الأزرق

- تطوير معايير السلامة التقنية والبيئية .

- إدماج الهيدروجين ضمن قانون الطاقة المتجددة وقانون الاستثمار.

وقد بدأت الجزائر بالفعل على العمل في هذا المجال بالتعاون مع هيئات دولية كالوكالة الألمانية للتعاون الدولي GIZ والبنك الألماني KfW، حيث تم إطلاق دراسات تنظيمية وتقنية خاصة.

- **تكوين الموارد البشرية وتعزيز القدرات:** يعد تأهيل العنصر البشري من الشروط الأساسية لإنجاح أي تحول طاقي. ولهذا، تهدف الإستراتيجية إلى ما يلي¹⁷:

- إنشاء مسارات جامعية متخصصة في "هندسة الهيدروجين" و"الطاقات النظيفة".

- تكوين تقنيين في مجالات مثل التحليل الكهربائي، التحكم في الأنظمة، وتخزين الهيدروجين.

- تعزيز البحث العلمي التطبيقي بالشراكة مع مراكز دولية.

- كما تم تخصيص برامج تدريبية بدعم من شركاء مثل GIZ، تستهدف تكوين أكثر من 1000 مهندس وتقني بحلول 2030.

- **تطوير الصناعة الوطنية والتكامل المحلي:** يهدف هذا المحور إلى تحقيق استقلالية جزئية في تصنيع مكونات سلسلة القيمة للهيدروجين، خاصة ما يتعلق بالأجهزة الكهروميكانيكية، وحدات التحليل الكهربائي، ونظم التخزين، حيث تهدف الاستراتيجية إلى أن تنتج ما لا يقل عن 30% من المكونات محلياً بحلول 2040. وترتكز المقاربة على¹⁸:

- تشجيع نقل التكنولوجيا عبر الشراكات مع شركات أجنبية (ألمانية، إيطالية، إسبانية).

- تحفيز المقاولات المحلية على الانخراط في قطاع التصنيع المرتبط بالهيدروجين.

- تقديم إعفاءات ضريبية وإجراءات تفضيلية في الصفقات العمومية للموردين المحليين.

- **التمويل والتحفيزات الاقتصادية:** يتطلب تنفيذ المشاريع الهيدروجينية استثمارات ضخمة طويلة الأجل، ولهذا فقد أولت الاستراتيجية اهتماماً كبيراً لمحور التمويل، من خلال ما يلي¹⁹:

- إنشاء صندوق وطني خاص بالهيدروجين الأخضر.

- توفير ضمانات سيادية لتقليل المخاطر الاستثمارية.

- سن حوافز جبائية وجمركية ضمن قانون الاستثمار الجديد.

- العمل على تعبئة الموارد المالية الدولية (صندوق المناخ الأخضر، البنك الإفريقي للتنمية، KfW الألماني).

وقد تم تقدير الاستثمار الإجمالي اللازم لتفعيل هذه الاستراتيجية بنحو 25 مليار دولار أمريكي بحلول 2040.

- **التعاون الدولي ونقل التكنولوجيا:** نظراً لحاجة البلاد إلى الخبرة الأجنبية في هذا المجال، فقد أبرمت الجزائر عدة اتفاقيات تعاون لدعم إنتاج وتصدير الهيدروجين الأخضر، منها:

- اتفاقية مع ألمانيا لإنشاء مشروع تجريبي للهيدروجين الأخضر بقدرة 50 MW.

- اتفاقيات مع إيطاليا (ENI) وإسبانيا (Cepsa) ضمن مشروع SouthH2 Corridor.

- انخراط الجزائر في مبادرات مثل Clean Hydrogen Partnership، و Global Hydrogen Council. ومن المتوقع أن تؤدي هذه الشراكات إلى تسريع نقل التكنولوجيا، وتعزيز الابتكار، وتسهيل الدخول إلى الأسواق الأوروبية.

- **نشر المشاريع ومراقبة التنفيذ:** يمثل الجانب التنفيذي المحور العملي الأهم، حيث تسعى الجزائر إلى ما يلي²⁰:

- إطلاق مشاريع نموذجية بين 2-50 MW لتقييم الأداء.

- توسيع القدرة الإنتاجية لتبلغ 10 GW بحلول 2040.

- تهيئة البنية التحتية (أنابيب الغاز، شبكات النقل، محطات التحويل).

- اعتماد مقاربة تدريجية تركز على التجريب، التقييم، ثم التوسيع.

كما تشمل المشاريع المخططة وحدات لإنتاج الأمونيا الخضراء، الميثانول، والهيدروجين السائل، لتلبية متطلبات

التصدير.

تشكل هذه المحاور الستة إطاراً متكاملًا لتجسيد الطموح الجزائري في دخول سوق الهيدروجين العالمي، وذلك عبر تكامل الجوانب القانونية، البشرية، الصناعية، الاقتصادية، التكنولوجية والتنفيذية. ويُعد هذا التصميم الاستراتيجي خطوة متقدمة نحو تنويع الاقتصاد، تعزيز الأمن الطاقوي، وقيادة التحول الطاقوي في شمال إفريقيا.

3.4 الهيئات الفاعلة في تنفيذ الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر في الجزائر:

تلعب عدة هيئات وطنية ودولية أدواراً محورية في تنفيذ خارطة الطريق الخاصة بالهيدروجين الأخضر في الجزائر، ما يعكس التوجه الاستراتيجي للدولة نحو الاقتصاد الأخضر.

- **وزارة الانتقال الطاقي والطاقات المتجددة:** تضطلع بدور محوري في الإشراف على صياغة وتنفيذ خارطة الطريق، بالتنسيق مع وزارات الطاقة، الصناعة، البيئة، التعليم العالي، ومراكز البحث العلمي. وتعمل الوزارة على تهيئة الإطار التشريعي والتقني وإطلاق المشاريع النموذجية، إضافة إلى تيسير التعاون الدولي²¹.

- **وزارة الطاقة والمناجم:** تتولى دمج مشاريع الهيدروجين في السياسة الطاقوية الوطنية، مع التركيز على استغلال شبكة الغاز الطبيعي القائمة لأغراض النقل والتوزيع مستقبلاً، بما يضمن التكامل بين الطاقات المتجددة والطاقات الأحفورية²².

- **شركة سوناطراك (Sonatrach):** أعلنت الشركة الوطنية للمحروقات عن دخولها سوق الهيدروجين من خلال مشاريع بحث وتطوير للهيدروجين الأزرق والأخضر، إلى جانب شراكات مع شركات أوروبية مثل ENI و VNG، ودراسة تهيئة شبكة أنابيب الغاز لنقل الهيدروجين²³.

- **شركة سونلغاز (Sonelgaz):** عبر فرعها المتخصص في الطاقات المتجددة SKTM، تعمل سونلغاز على تطوير محطات كهروضوئية مخصصة لتغذية وحدات التحليل الكهربائي، وتنجز دراسات تقنية لضمان ربط هذه المحطات بالشبكة الكهربائية واستقرارها²⁴.

- **مركز تنمية الطاقات المتجددة (CDER):** يقود الأبحاث والدراسات العلمية المتعلقة بإنتاج واستعمال الهيدروجين عبر مخابر متخصصة في بومرداس وورقلة، ويقدم تقارير تقنية للحكومة حول إمكانيات الإنتاج بالطاقات الشمسية وطاقة الرياح²⁵.

- **الوكالة الوطنية لترقية وترشيد الطاقة (APRUE):** تركز على إدماج الهيدروجين في برامج التوعية الطاقوية، لا سيما في المؤسسات الصناعية والبلديات، وتعزيز الاستهلاك النظيف في القطاعات غير الإنتاجية²⁶.

- **الشركاء الدوليون والاتحاد الأوروبي:** لعب الوكالة الألمانية للتعاون الدولي GIZ دوراً أساسياً في الدعم الفني ضمن مشروع H2Uppp، كما يساهم الاتحاد الأوروبي في تمويل مشاريع الهيدروجين ضمن إطار الصفقة الخضراء الأوروبية. وأبدى البنك الأوروبي للاستثمار (EIB) اهتماماً بتمويل مشاريع البنية التحتية للهيدروجين في الجزائر²⁷.

يمثل هذا التفاعل بين الهيئات الوطنية والدولية ركيزة حاسمة لضمان تنفيذ الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر بكفاءة، وتسريع اندماج الجزائر في سلاسل القيمة العالمية للهيدروجين منخفض الكربون.

5. التحديات والاقتراحات الخاصة بالاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر في الجزائر:

1.5 التحديات التي تواجه تنفيذ الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر في الجزائر:

على الرغم من الإمكانيات الشمسية وطاقة الرياح الكبيرة التي تؤهل الجزائر لتصبح فاعلاً رئيسياً في سوق الهيدروجين الأخضر، تواجه الاستراتيجية الوطنية مجموعة من التحديات التقنية، التشريعية، التمويلية، والبشرية. ويعد تحديد هذه التحديات بدقة شرطاً أساسياً لوضع سياسات واقعية تضمن نجاح خارطة الطريق. ويتمثل أهمها في ما يلي:

- **التحديات التقنية:** يعاني قطاع الهيدروجين في الجزائر من غياب وحدات إنتاج تجريبية على نطاق صناعي، وعدم توفر منصات اختبار لتقنيات التحليل الكهربائي للماء عالية الكفاءة.

بالإضافة إلى ذلك، هناك نقص في تصنيع المعدات محلياً، مثل أجهزة التحليل الكهربائي وخزانات الضغط، ما يجعل الجزائر تعتمد بشكل شبه كلي على الواردات التكنولوجية²⁸.

- **هشاشة البنية التحتية لنقل الهيدروجين:** رغم توفر شبكة نقل غاز طبيعي ضخمة تمتد نحو أوروبا، إلا أنها غير مهيأة بالكامل لنقل الهيدروجين أو مزيج مع الغاز الطبيعي، فهي تحتاج إلى تعديلات تقنية صارمة ومكلفة، وهو ما يُعتبر عائقاً أمام سرعة التنفيذ²⁹.

- **غياب الإطار القانوني والتنظيمي:** لا تزال الجزائر تفتقر إلى قانون وطني واضح ينظم إنتاج، نقل، تصدير، وتسعير الهيدروجين. مما يجعل المستثمرين في حالة من الغموض التشريعي، ويؤخر عملية اتخاذ القرار الاستثماري. كما أن قوانين الطاقة المتجددة الحالية لا تغطي تقنيات الهيدروجين بشكل مباشر، ما يتطلب تحديثاً قانونياً شاملاً³⁰.

- **محدودية التمويل والاستثمار المحلي:** يُعد غياب التمويل المحلي الكافي من أبرز التحديات، حيث تتطلب مشاريع الهيدروجين الأخضر استثمارات ضخمة تفوق قدرة التمويلات العمومية التقليدية. كما أن البنوك الجزائرية لا تزال تحتفظ على تمويل المشاريع الطاقوية طويلة الأمد ذات المخاطر التكنولوجية. كما أن ضعف تحفيز الاستثمارات المحلية والأجنبية في هذا المجال يبطئ جذب الشركاء الدوليين³¹.

- **ضعف التنسيق بين الفاعلين والمؤسسات:** يُلاحظ وجود تداخل في الصلاحيات بين مختلف الهيئات الحكومية (وزارة الطاقة، وزارة الانتقال الطاقوي، وزارة البيئة)، ما يؤدي أحياناً إلى بطء في اتخاذ القرارات أو تضارب في تنفيذ البرامج. كما أن التنسيق مع الفاعلين الاقتصاديين (مثل سوناطراك وسونلغاز) ليس دائماً مؤسسياً ومنظماً³².

- **نقص الكفاءات البشرية المتخصصة:** رغم وجود مراكز بحث نشطة، إلا أن الجزائر تعاني من نقص حاد في المهندسين والتقنيين المتخصصين في اقتصاد وتقنيات الهيدروجين، وهو ما يشكل عائقاً أمام التوسع السريع في المشاريع. كما أن الجامعات لم تُدرج بعد برامج دراسية متخصصة في هذا المجال بشكل منهجي³³.

إن تجاوز هذه التحديات يتطلب إصلاحات عميقة على المستوى المؤسسي، وتفعيل الحوكمة البيئية والاجتماعية في إدارة مشاريع الهيدروجين، إضافة إلى استقطاب الاستثمار الأجنبي عبر آليات تمويل مبتكرة، وشراكات دولية قائمة على نقل التكنولوجيا وبناء القدرات.

2.5 الاقتراحات الخاصة بالاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر في الجزائر:

استناداً إلى تحليل الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر في الجزائر ومقارنتها بالتجارب الدولية ذات الصلة، وباعتماد على المؤشرات الوطنية الراهنة من حيث القدرات الطاقوية والشراكات الاستثمارية، يقترح الجدول التالي تصوراً مرحلياً لتنفيذ هذه الاستراتيجية. ويهدف هذا التصور إلى تقديم مسار محتمل قائم على معطيات واقعية، مع التأكيد على أن ضبط الأطر الزمنية يمثل عنصراً حاسماً لضمان الاستدامة وتحقيق الأهداف بشكل متدرج، مع ضرورة إخضاع كل مرحلة لآليات تقييم دوري تسمح بتصحيح المسار وتكييف السياسات وفق المستجدات، دون أن يشكّل هذا التصور خطة رسمية معتمدة.

الجدول رقم 8. المراحل الزمنية المقترحة لتنفيذ الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر في الجزائر

المرحلة	المدة الزمنية	الأولويات الرئيسية	آليات المتابعة المقترحة
قصيرة المدى	من 2025 إلى 2027	- إصدار تشريعات خاصة بالهيدروجين (تسعير، معايير سلامة). - إطلاق مشاريع تجريبية (50-100 MW) - إرساء هيئة وطنية للتنسيق والمتابعة.	- تقارير سنوية من الهيئة التنسيقية. - تحديد مؤشرات أداء رئيسية (KPIs) مثل سعة التحليل الكهربائي.
متوسطة المدى	من 2028 إلى 2035	- توسيع قدرة الإنتاج إلى أكثر من 1 GW - إدماج الهيدروجين في شبكة الغاز (blend up to 10%) - إنشاء صندوق تمويل أخضر. مساهمة القطاعين العام والخاص.	- مراجعة نصفية لكل ثلاث سنوات. - تدقيق بيئي مستقل.
طويلة المدى	من 2036 إلى 2040	• تطوير ممرات تصدير (SouthH2 Corridor). • إنشاء بنية تحتية للنقل والتخزين موجهة للأسواق الأوروبية. • تعزيز البحث والابتكار الصناعي لخفض التكاليف.	- تقييم ختامي للاستراتيجية مع تحديث الأهداف لما بعد 2040.

source: Author's elaboration based on:

- Banque mondiale. (2023). Programme d'assistance à la gestion du secteur énergétique (ESMAP) – Rapport annuel 2023. Washington, DC : Banque mondiale.

<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099509106042411301>

- CEREFEE. (2024). Stratégie nationale de l'hydrogène et développement des énergies renouvelables en Algérie. Alger : Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité Énergétique.

ملاحظة: التواريخ والأهداف الواردة في الجدول تقديرية وغير رسمية، أُعدت لأغراض بحثية استناداً إلى التقارير المذكورة أعلاه.

تتطلب المراحل الزمنية الواردة في الجدول مجموعة من الإجراءات الهيكلية المساندة التي تشكل ركائز أساسية لنجاح الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين في الجزائر. وتمثل أهم هذه الركائز في ما يلي:

- **الإطار المؤسسي والتشريعي:** يشكل وضع إطار مؤسسي وتشريعي متكامل الخطوة الأولى لضمان نجاح الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر في الجزائر. ويتضمن ذلك إنشاء هيئة وطنية تنسيقية متعددة القطاعات تتولى الإشراف على مراحل التنفيذ، وضمان التكامل بين المؤسسات الحكومية والقطاع الخاص. كما يُعد إعداد قانون وطني للهيدروجين ضرورة أساسية لتنظيم الجوانب التقنية والبيئية والتجارية والضريبية، وتحديد المسؤوليات القانونية بوضوح، بما يضمن بيئة تنظيمية مستقرة وجاذبة للاستثمارات طويلة الأجل³⁴.

- **الإطار الاستثماري والتمويلي:** يتطلب تطوير قطاع الهيدروجين الأخضر توفير بيئة استثمارية محفزة قائمة على حوافز مالية وجبائية، إلى جانب تبسيط الإجراءات البيروقراطية. كما تبرز الحاجة إلى آليات تمويل مبتكرة تشمل القروض الميسرة، التمويلات الخضراء، وصناديق دعم الابتكار. وتُعد تعبئة الموارد المالية من مؤسسات التمويل الدولية مثل البنك الدولي والبنك الإفريقي للتنمية عنصراً محورياً لتسريع إنجاز المشاريع. وتلعب المشاريع النموذجية (Pilot Projects) دوراً تجريبياً لتقييم الجدوى الاقتصادية والتقنية، وتوفير قاعدة بيانات محلية تُرشد التوسع المستقبلي³⁵.

- **المشاريع النموذجية والبنية التحتية:** إطلاق مشاريع تجريبية صغيرة الحجم في مناطق الجنوب والهضاب العليا يتيح اختبار الحلول التقنية والتأكد من ملاءمتها للسياق المحلي، مما يُقلل من المخاطر الاستثمارية عند التوسع نحو مشاريع أضخم. وبالتوازي، يُعتبر الاستثمار في البنية التحتية للنقل والتخزين - بما في ذلك الأنابيب، المرافئ، ومحطات التزويد - شرطاً أساسياً

لتحويل الجزائر إلى محور إقليمي ودولي لتصدير الهيدروجين الأخضر. ومن بين المبادرات الواعدة في هذا المجال دعم المشاريع العابرة³⁶.

- **الشراكات الدولية ونقل التكنولوجيا:** يمثل الموقع الجغرافي للجزائر قرباً استراتيجياً من أوروبا، ما يمنحها ميزة تنافسية لتصدير الهيدروجين عبر الممرات الخضراء. كما أن تعزيز الشراكات الدولية مع شركات رائدة مثل Siemens Energy و Air Liquide و TotalEnergies، يتيح نقل التكنولوجيا وبناء قدرات محلية متقدمة، إضافة إلى إدماج الجزائر ضمن سلاسل القيمة العالمية للطاقة النظيفة³⁷.

- **بناء القدرات والبحث العلمي:** يُعتبر الاستثمار في رأس المال البشري ركيزة أساسية لاستدامة قطاع الهيدروجين. وتشمل الأولويات إدماج تخصصات الهيدروجين ضمن البرامج الجامعية، تطوير تكوين مهني متخصص، وتوسيع برامج التدريب مع الشركاء الدوليين. كما يُشكل دعم مراكز البحث والابتكار في مجالات التحليل الكهربائي، التخزين، والنقل عاملاً مهماً لضمان تطوير تقنيات محلية قادرة على المنافسة³⁸.

- **التنمية المستدامة والحوكمة:** ينبغي أن تلتزم الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر بمبادئ التنمية المستدامة، وذلك من خلال احترام المعايير البيئية والاجتماعية في جميع مراحل الإنتاج والتوزيع والاستخدام. كما أن اعتماد آليات رقابة مستقلة، ونشر تقارير دورية حول التقدم المحقق، يعزز الشفافية ويزيد من ثقة المستثمرين والمجتمع المدني. وتساهم هذه المقاربة الشفافة في دمج المجتمع المحلي في عمليات التخطيط والمراقبة، بما يرسخ البعد الشامل للاستراتيجية³⁹.

إنّ تفعيل الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر في الجزائر يستلزم مقاربة شاملة متكامل فيها الأبعاد التشريعية، الاستثمارية، التقنية، والبيئية ضمن رؤية طويلة الأمد. فنجاح هذه الاستراتيجية لا يقتصر على إعداد خطط أو إطلاق مشاريع تجريبية، بل يعتمد على قدرة مختلف الفاعلين الحكوميين والخواص على تنفيذ إصلاحات مؤسسية، وتعبئة الموارد المالية، وبناء قدرات بشرية متخصصة قادرة على استيعاب التكنولوجيا المتطورة. ومن شأن هذا التكامل أن يعزز جاذبية السوق الجزائرية للاستثمار الدولي، ويؤسس لتموقع استراتيجي يجعل الجزائر أحد أبرز الموردين الإقليميين والدوليين للهيدروجين الأخضر، بما يساهم في تنويع الاقتصاد الوطني وتحقيق أهداف التنمية المستدامة.

6. تحليل النتائج:

أظهرت الدراسة أن الجزائر تمتلك مقومات استثنائية لتطوير قطاع الهيدروجين الأخضر، أبرزها الإمكانيات الهائلة للطاقة الشمسية والريحية، والبنية التحتية المتطورة لأنابيب الغاز القابلة لإعادة التهيئة لنقل الهيدروجين، إضافة إلى موقعها الجغرافي القريب من الأسواق الأوروبية. هذه المعطيات تؤكد صحة الفرضية الأولى التي اعتبرت الهيدروجين الأخضر مصدراً واعداً للطاقة النظيفة ووسيلة فعّالة لدعم الانتقال نحو اقتصاد منخفض الكربون.

كما يبيّن تحليل الاستراتيجية الوطنية أن الجزائر تبنت مقاربة تدريجية تقوم على مشاريع تجريبية، وتحفيز الاستثمار، والتعاون الدولي لنقل التكنولوجيا، وهو ما يدعم الفرضية الثانية المتعلقة بارتباط الهيدروجين الأخضر بتحقيق أهداف التنمية المستدامة، خاصة في ما يخص خفض الانبعاثات وتنويع مصادر الدخل.

أما على صعيد سلسلة القيمة، فقد أظهرت النتائج وجود فرص استثمارية واسعة في مجالات الإنتاج، النقل، التخزين، والاستخدامات النهائية، وهو ما يثبت الفرضية الثالثة حول إمكانية استغلال هذه السلسلة لتعزيز التنافسية الاقتصادية. ومع ذلك، أبرزت الدراسة تحديات هيكلية تشمل غياب الإطار القانوني الشامل، محدودية التمويل المحلي، وضعف الكفاءات البشرية المتخصصة، مما يدعم الفرضية الرابعة بخصوص وجود عوائق تقنية ومؤسسية تتطلب إصلاحات وسياسات داعمة.

بناءً على ذلك، يتضح أن تحقيق أهداف الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر في الجزائر يظل ممكناً، لكنه مرهون بمدى قدرة الدولة على تسريع الإصلاحات التشريعية، تعبئة الموارد المالية، وتعزيز الشراكات الدولية لنقل التكنولوجيا وبناء القدرات المحلية.

7. خلاصة:

يمثل تطوير الهيدروجين الأخضر في الجزائر فرصة استراتيجية لإرساء نموذج اقتصادي متنوع وقائم على الطاقات النظيفة، بما يعزز مكانة البلاد كمورد إقليمي ودولي للطاقة منخفضة الكربون. فقد أبرز البحث الإمكانيات الكبيرة التي تمتلكها الجزائر من حيث الموارد الشمسية وطاقة الرياح والبنية التحتية للغاز، إلى جانب موقعها الجغرافي المميز قرب أوروبا، وهو ما يهيئها لولوج أسواق الطاقة المستدامة. كما أظهرت الدراسة أن الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر تركز على محاور متكاملة تشمل الجوانب التشريعية، الاستثمارية، الصناعية، والتعاون الدولي، غير أن نجاحها يظل مرتبطاً بمدى قدرة الدولة على معالجة التحديات التقنية والمالية والتنظيمية التي تم تحديدها.

اعتماداً على هذه النتائج، يقترح البحث الإسراع في سن قانون وطني للهيدروجين، وإنشاء هيئة تنسيقية متعددة القطاعات، وتطوير آليات تمويل مبتكرة تستقطب الاستثمارات المحلية والأجنبية، إلى جانب دعم التكوين الجامعي والبحث العلمي لنقل التكنولوجيا وتوطينها. أما في ما يتعلق بآفاق البحث، فيمكن التوسع مستقبلاً في دراسة نماذج التمويل الأخضر، وتحليل الجدوى الاقتصادية لتكامل الهيدروجين مع القطاعات الصناعية المحلية مثل الأسمدة والحديد والصلب، بما يساهم في ترسيخ موقع الجزائر ضمن سلاسل القيمة العالمية للطاقة النظيفة.

6. الهوامش والإحالات

- ¹ International Renewable Energy Agency (IRENA), Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor (Abu Dhabi: IRENA, 2022).
- ² Stefan Drenkard and A. M., Étude exploratoire sur le potentiel du Power-to-X (hydrogène vert) pour l'Algérie (Algiers: GIZ – Algerian-German Energy Partnership, 2021)..
- ³ International Energy Agency (IEA), The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities (Paris: International Energy Agency, 2019).
- ⁴ International Renewable Energy Agency (IRENA), Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling Up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal (Abu Dhabi: IRENA, 2020).
- ⁵ L. Wang et al., "Research and Development of Hydrogen-Fueled Internal Combustion Engines," Frontiers in Mechanical Engineering 9 (2023): 1088712.
- ⁶ U.S. Department of Energy (DOE), Hydrogen and Fuel Cell Technical Advisory Committee: Hydrogen Storage and Integration with Renewable Energy Systems (Washington, D.C., 2020).
- ⁷ International Energy Agency (IEA), The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities. Report Prepared by the IEA for the G20, Japan (Paris, 2019).
- ⁸ U.S. Department of Energy (DOE), Hydrogen Program Plan (Washington, D.C., 2020).
- ⁹ International Energy Agency (IEA), Global Hydrogen Review 2023 (Paris, 2023).
- ¹⁰ International Energy Agency (IEA), Global Hydrogen Review 2022 (Paris: International Energy Agency, 2022).
- ¹¹ وزارة الطاقة والمناجم. دليل الطاقة المتجددة. الجزائر: وزارة الطاقة والمناجم، 2007.
- ¹² Hydrogen Europe. Hydrogen Import Potential: North Africa and the EU. Brussels, 2023.
- ¹³ Hydrogen Europe. Hydrogen Import Potential: North Africa and the EU. Brussels, 2023.
- ¹⁴ Enerdata and ClimateWorks Foundation. Unlocking the Potential of Green Hydrogen. Enerdata & ClimateWorks Foundation, 2024.
- ¹⁵ ISA-GH2. Algeria Country Profile – Green Hydrogen Roadmap. ISA-GH2, 2023
- ¹⁶ ISA-GH2. Algeria Country Profile – Green Hydrogen Roadmap. ISA-GH2, 2023
- ¹⁷ UNESCWA. National Green Hydrogen Strategy – Algeria. UNESCWA, 2023.
- ¹⁸ Enerdata. Algeria details US\$25bn national hydrogen plan to export 1 Mt/year by 2040. Enerdata, 2023.
- ¹⁹ ISA-GH2. Algeria Country Profile – Green Hydrogen Roadmap. ISA-GH2, 2023.
- ²⁰ ISA-GH2. Algeria Country Profile – Green Hydrogen Roadmap. ISA-GH2, 2023.
- ²¹ وزارة الانتقال الطاقوي. بيان رسمي. الجزائر، 2022.
- ²² وزارة الطاقة والمناجم. نشرة معلومات حول الانتقال الطاقوي. الجزائر، 2023.
- ²³ Attaqa.net. Sonatrach Prepares to Produce Green Hydrogen. 2023. <https://attaqa.net>
- ²⁴ GIZ. Hydrogène vert en Algérie: État des lieux, potentiels et perspectives. Eschborn, 2021.
- ²⁵ مركز تنمية الطاقات المتجددة (CDER). الانتقالات الطاقوية في الجزائر. الجزائر، 2022.
- ²⁶ الوكالة الوطنية لترقية وترشيد استعمال الطاقة (APRUE). التقرير السنوي 2022. الجزائر.
- ²⁷ European Commission. EU-Africa Green Hydrogen Partnership. Brussels, 2024.
- ²⁸ GIZ. Hydrogène vert en Algérie: État des lieux, potentiels et perspectives. Eschborn, 2021.
- ²⁹ Hydrogen Europe. Hydrogen Infrastructure Status in MENA Region. Brussels, 2024..
- ³⁰ المحافظة الوطنية للطاقات المتجددة والفعالية الطاقوية (CEREFÉ). الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر. الجزائر، 2024.
- ³¹ World Bank / ESMAP. Scaling Hydrogen Financing for Development: Unlocking Green Hydrogen Investment in Emerging Markets. Washington, D.C., 2023.
- ³² GIZ. H2Uppp Algeria – Institutional Mapping Report. Germany, 2023..
- ³³ IRENA. Enabling Green Hydrogen Development: North Africa. Abu Dhabi, 2025..
- ³⁴ المحافظة الوطنية للطاقات المتجددة والفعالية الطاقوية (CEREFÉ). الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر. الجزائر، 2024.
- ³⁵ World Bank / ESMAP. Scaling Hydrogen Financing for Development: Unlocking Green Hydrogen Investment in Emerging Markets. Washington, D.C., 2023.
- ³⁶ European Commission. EU-Africa Green Hydrogen Partnership. Brussels, 2024..
- ³⁷ Hydrogen Europe. Hydrogen Import Potential: North Africa and the EU. Brussels, 2023..
- ³⁸ IRENA. Enabling Green Hydrogen Development: North Africa. Abu Dhabi, 2025.
- ³⁹ المحافظة الوطنية للطاقات المتجددة والفعالية الطاقوية (CEREFÉ). الاستراتيجية الوطنية للهيدروجين الأخضر. الجزائر، 2024.