

الهيدروجين الأخضر كطاقة بديلة: مقاربة استشرافية لتحقيق الأمن الطاقوي الجزائري Green Hydrogen as Alternative Energy: A Foresight Approach to Achieving Algerian Energy Security

آسيا لعمراني

جامعة الجزائر 3 - الجزائر

ass_lamrani@yahoo.fr

تاريخ النشر: 2025/12/30

إيمان زلماط*

جامعة الجزائر 3 - الجزائر

ime@outlook.fr

تاريخ الارسال: 2025/09/18

تاريخ القبول: 2025/10/31

ملخص:

يشكل الانتقال الطاقوي إحدى أبرز التحديات والفرص التي تواجه الدول الريعية المعتمدة على المحروقات وفي مقدمتها الجزائر. وفي هذا السياق، يبرز الهيدروجين الأخضر كخيار استراتيجي قادر على المساهمة في ضمان الأمن الطاقوي مستقبلاً، عبر تنويع مصادر الطاقة وتقليص التبعية للنفط والغاز. تهدف هذه الدراسة إلى مقارنة مكانة الهيدروجين ضمن الاستراتيجية الطاقوية الجزائرية، وذلك من خلال منظور استشرافي يعتمد أدوات تحليلية مثل التحليل الهيكلي والتحليل المورفولوجي، بغرض استكشاف السيناريوهات الممكنة لآفاق 2040، وتتناول الدراسة الإمكانات الطبيعية التي تتيح للجزائر موقعاً تنافسياً في سوق الهيدروجين الأخضر، مع التركيز على التحديات المرتبطة بالطلب الداخلي، التمويل، والبحث والتطوير. تسعى هذه المقاربة إلى إبراز مدى قدرة الجزائر على التحول نحو نموذج طاقوي أكثر استدامة وصموداً، يوازن بين متطلبات الأمن الوطني والالتزامات الدولية بالتحول الطاقوي، ويضع الهيدروجين في قلب الاستراتيجيات المستقبلية.

كلمات مفتاحية: الأمن الطاقوي، الانتقال الطاقوي، الطاقات المتجددة، الهيدروجين الأخضر، التحليل

الاستشرافي

Abstract:

The energy transition represents one of the most critical challenges and opportunities for hydrocarbon-dependent rentier states, with Algeria at the forefront. In this context, green hydrogen emerges as a strategic alternative capable of reinforcing future energy security by diversifying supply sources and reducing dependence on oil and gas. This study explores the role of hydrogen within Algeria's energy strategy through a forward-looking approach that employs analytical tools such as structural analysis and morphological analysis, to project potential scenarios for the horizons of 2040. The research highlights Algeria's natural assets that can provide it with a competitive position in the emerging hydrogen market, while addressing challenges related to domestic demand, financing, and research and development. Ultimately, this foresight-based approach underlines Algeria's ability to move toward a more sustainable and resilient energy mode, balancing national energy imperatives with global energy transition commitments, and positioning hydrogen as a cornerstone of future strategies.

Keywords: Energy Security, Energy transition, Renewable Energy, Green Hydrogen, Foresight Analysis

المؤلف المرسل

مقدمة

تعد إشكالية الأمن الطاقوي محورا أساسيا في النقاشات الاستراتيجية للدول المعتمدة على الموارد الطبيعية ولاسيما الدول الريعانية التي تشكل عائداتها من هذه الموارد ركيزة رئيسية لموازنتها العامة، وتندرج الجزائر ضمن هذا الإطار باعتبارها من أبرز المنتجين والمصدرين للغاز الطبيعي والنفط في إفريقيا والعالم العربي، غير أنها تواجه تحديات متزايدة في ظل التحولات العالمية المتسارعة نحو الطاقات النظيفة.

ومن أجل تأمين احتياجاتها الداخلية والحفاظ على مكانتها الدولية في سوق الطاقة، يبرز الهيدروجين كأحد الخيارات الواعدة لتحقيق انتقال طاقوي آمن وفعال، وبالنظر إلى خصوصية الجزائر كدولة ريعانية تعتمد على العائدات الطاقوية، فإن الإشكال المطروح يتمثل في مدى قدرة الهيدروجين على الإسهام في تعزيز أمنها الطاقوي وتقليص تبعيتها المفرطة للمحروقات ضمن منظور استشرافي يستجيب للتحولات العالمية الراهنة.

ولفك غموض الإشكالية نطرح التساؤلات التالية:

- إلى أي مدى توضح مفاهيم الأمن الطاقوي دور الطاقات المتجددة في تحقيق إستدامة الطاقة؟
- ماهي الإمكانيات التي تمتلكها الجزائر لإنتاج الهيدروجين الأخضر؟
- ماهي التحديات البنوية (التكنولوجية، التمويلية والتشريعية) التي تواجه الجزائر في سبيل تطوير الهيدروجين؟

➤ كيف يمكن تبني مقارنة استشرافية تحدد السيناريوهات المستقبلية لدور الهيدروجين الأخضر في تحقيق الأمن الطاقوي الجزائري؟

وللإجابة على التساؤلات نفترض مايلي:

➤ من شأن وفرة الامكانيات الطبيعية (الطاقات الشمسية والربحية) والموقع الجيوسياسي للجزائر أن يوفر قاعدة مادية ملائمة لتطوير صناعة الهيدروجين الأخضر.

➤ تشكل العوائق التقنية والمالية والتشريعية المحدد الرئيسي الذي قد يعيق تطور الهيدروجين الأخضر في الجزائر مقارنة بالدول المنافسة.

➤ إذا تبنت الجزائر مقارنة استشرافية قائمة على تحليل السيناريوهات فإنها قد تتحول إلى فاعل إقليمي رائد في مجال الهيدروجين الأخضر، مما يتيح لها تعزيز أمنها الطاقوي ومكانتها الجيوسياسية.

أهداف الدراسة:

➤ تحليل العلاقة بين الطاقات البديلة وعلى رأسها الهيدروجين الأخضر ومفهوم الأمن الطاقوي في السياق الجزائري.

➤ تقييم التحديات البنوية والمؤسسية التي قد تعيق دمج الهيدروجين الأخضر في الاستراتيجية الطاقوية الوطنية.

➤ بناء مقارنة استشرافية قائمة على تحليل السيناريوهات لتحديد الدور المستقبلي للهيدروجين الأخضر في تعزيز الأمن الطاقوي الجزائري.

منهجية الدراسة:

المنهج الوصفي التحليلي: يستخدم لتوصيف وتحليل الإطار المفاهيمي للأمن الطاقوي والهيدروجين كطاقة بديلة، يسمح لدراسة الواقع الطاقوي الجزائري (الموارد، السياسات، والتحديات).

المنهج الاستشرافي: بما أن الموضوع يتجه نحو المستقبل فقد تم استخدام المنهج الاستشرافي القائم على أدوات تحليلية تتمثل في التحليل الهيكلي والتحليل المورفولوجي من أجل بناء سيناريوهات محتملة لدور الهيدروجين في تعزيز الأمن الطاقوي الجزائري.

أولاً: الإطار المفاهيمي للأمن الطاقوي والانتقال الطاقوي

تمثل الطاقة اليوم أحد أهم عناصر القوة الاستراتيجية للدول، باعتبارها محركاً أساسياً للتنمية الاقتصادية والاجتماعية. غير أن إدارة موارد الطاقة لم تعد مجرد قضية تقنية أو اقتصادية، بل ارتبطت بمفاهيم أكثر شمولاً مثل الأمن الطاقوي والانتقال الطاقوي. ويكتسب فهم هذه المفاهيم أهمية خاصة لأنه يتيح تحليل التداخل بين الطاقة وأبعادها الاقتصادية والجيوسياسية والبيئية، بما يعكس التحولات التي يعرفها النظم الطاقوي العالمي.

1. مفهوم الأمن الطاقوي

يعتبر أمن الطاقة أحد الركائز الأساسية لتحقيق الأمن الاقتصادي وضمان التنمية المستدامة، وقد برز كعنصر محوري في السياسات الطاقوية عبر العالم، اتسم هذا المفهوم كونه مرناً فهو متغير ومتطور باستمرار ماجعل الإتفاق على وضعه في قالب مفاهيمي موحد من قبل الباحثين وخبراء الطاقة في غاية الصعوبة. وفي هذا الشأن يؤكد دانيال يرغين أن مفهوم أمن الطاقة يحظى بإجماع واسع على أهميته، غير أن تباين الرؤى حول معناه ومجالات تطبيقه يظل قائماً، حيث تختلف مقاربات الدول والباحثين في تحديد أولوياته ومقتضياته¹. وهذا ما يفسر استخدامه كمظلة تضم مختلف الأبعاد المتعلقة بالرفع من مكانة الطاقة في الدول.

1.1 تعريف الأمن الطاقوي انطلاقاً من الأبعاد

يُعرّف أمن الطاقة في صورته الضيقة والأكثر شيوعاً على متغير مركزية السوق (Market- Centric) والمتضمن مصطلحات كالعرض، الوفرة، والأسعار. ونجد تعريف وكالة الطاقة الدولية ضمن هذه الفئة. مُعرِّفةً أمن الطاقة بتوفر إمدادات كافية من الطاقة بتكاليف معقولة². ويمكن تفسير هذا التعريف في ضوء الأحداث التاريخية، إذا جاء بعد أزمة النفط التي أعقبت حرب أكتوبر 1973، عندما فرضت الدول العربية المنتجة للنفط حظراً على الدول الداعمة لإسرائيل³، ما خلف أزمة كبيرة وآثاراً اقتصادية واسعة، خاصة على الدول الصناعية المستهلكة للطاقة.

وإذا كان التعريف الضيق للأمن الطاقوي، سواء من منظور السوق أو وفقاً لوكالة الطاقة الدولية، يركز على مسألة توازن العرض والطلب وضمان التدفقات المنتظمة للطاقة، فإن هذا المنظور يبقى محدوداً لعدم أخذه

بالاعتبار الأسس المادية والتنظيمية التي يقوم عليها النظام الطاقوي. ومن هنا الأمن الطاقوي لا يكتمل دون النظر إلى أبعاده المتعددة الأخرى، مثل البعد البيئي الذي يعنى بالبنية التحتية، والبعد الاقتصادي المتعلق بالنمو والاستقرار، والبعد البيئي المرتبط بالاستدامة وحماية الموارد، والبعد الجيوسياسي الذي يعكس تأثير التوازنات الدولية وصراعات النفوذ، إضافة إلى البعد التكنولوجي الذي يحدد قدرة الدول على مواكبة التحولات والإبتكار في مجال الطاقة.

أ. البعد البيئي الهيكلي

نلاحظ أن معنى الطاقة يختلف حسب موقع كل دولة ما يؤدي إلى اختلاف التصورات والتوجهات السياسة الطاقوية، ما يجعل خلق نظام طاقة متوازن صعب خاصة في ظل غياب التنسيق بين الدول. ما أفرز مفاهيم تختلف حسب موقع كل دولة في السلسلة الطاقوية وتتمثل فيما يلي:

✓ الدول المنتجة/المصدرة: يرتبط أمن الطاقة باستمرارية تدفق الموارد الطاقوية في أسواق الطاقة بما يضمن دخول عائدات معتبرة تدفع بعجلة النمو من خلال تمويل المشاريع الاقتصادية في مختلف القطاعات وتحقيق الرفاه الاجتماعي. وتعرفه العديد من الدول المنتجة والمصدرة بأنه "القدرة على تدفق مستمر للصادرات الطاقوية بأسعار معقولة، بما يحقق ليس فقط إعادة الإستثمار في قطاع الطاقة، بل كذلك يدعم التنمية الاقتصادية الشاملة"⁴.

✓ الدول المستوردة: تربط أمنها الطاقوي بوفرة الإمدادات بأسعار مناسبة وحمايتها من التهديدات والمخاطر، وإحلال الطاقات المتجددة محل الطاقات الأحفورية. وهذا ما يشير إليه غاريث وينرو (Gareth Winrow) حيث عرّف أمن الطاقة بأنه الحالة التي يتمكن فيها الأفراد والمؤسسات من الوصول إلى موارد الطاقة الكافية، وبأسعار مناسبة، على المدى المنظور، بعيدا عن خطر الإنقطاع⁵.

✓ دول العبور: يكتسي مفهوم أمن الطاقة في حالة دول العبور بعدا خاصا، إذ يتمحور أساسا حول استقرار تدفق الموارد الطاقوية عبر أراضيها. وجوهر أمن الطاقة يكمن في القدرة على إدارة المخاطر المرتبطة بشبكات النقل وخطوط الأنابيب، بما يضمن استمرارية تدفق الطاقة نحو الأسواق النهائية ويحافظ في الوقت ذاته على عائداتها الاقتصادية ومكانتها الجيوسياسية كونها حلقة وصل محورية بين المنتجين والمستهلكين.

ب. البعد الاقتصادي: من المنظور الاقتصادي يمكن تعريف الأمن الطاقوي بأنه حالة توازن واستقرار في توافر موارد الطاقة بالكمية والجودة اللازمين، وبأسعار معقولة ومستقرة. بما يضمن استمرارية النشاط الاقتصادي ورفع حجم الاستثمار من جهة وتعزيز النمو والتنمية المستدامة من جهة أخرى، مع تقليص هشاشة الاقتصاد أمام تقلبات الأسواق الدولية أو الاضطرابات الجيوسياسية.⁶

ج. البعد البيئي: من منظور بيئي، يمثل أمن الطاقة أحد الأبعاد الجوهرية التي يوليها مؤشر معضلة الطاقة العالمية أهمية خاصة، باعتباره يرتبط بقدرة الدول على الانتقال نحو أنظمة طاقوية أكثر استدامة. فالمؤشر لا يقتصر على قياس موثوقية الامدادات أو عدالة الوصول إلى الطاقة، بل يسلط الضوء على البعد

البيئي الذي يتمثل في تقليص الانبعاثات الكربونية، وتحسين كفاءة استخدام الموارد، وتوسيع الاعتماد على الطاقات المتجددة.⁷

د. البعد الجيوسياسي: من منظور الجيوسياسية يفهم الأمن على أنه قدرة الدولة على التكيف مع شبكة معقدة من التهديدات والفرص التي تنشأ من تداخل السياسة الدولية مع منظومات الطاقة والاقتصاد والبيئة. فالأمن هنا لا يقتصر على حماية الموارد الطاقوية التقليدية، بل يمتد إلى ضمان الانتقال السلس نحو الطاقات المتجددة، حيث إن ارتفاع المخاطر الجيوسياسية يبطئ الاستثمار في البنى التحتية للطاقة النظيفة ويزيد من تكاليفها، لكنه قد يدفع في الوقت نفسه إلى تسريع الإستهلاك المحلي للطاقات البديلة كخيار استراتيجي. كما يتجلى البعد البيئي في هذا المفهوم عبر تأثير النزاعات على الموارد الطبيعية والأنظمة الإيكولوجية وتعطيل التعاون الدولي في مواجهة تغير المناخ. أما في الأسواق، فتترجم المخاطر الجيوسياسية إلى تقلبات حادة في أسعار النفط والغاز، مما يضاعف من حالة عدم اليقين لدى المنتجين والمستهلكين و يؤثر في القرارات الإستثمارية. وأخيرا على مستوى السياسات، تفرض الجيوسياسية إعادة صياغة الإستراتيجيات الطاقوية الوطنية والدولية لموازنة ثلاثية معقدة: الأمن الطاقوي، النمو الاقتصادي، والاستدامة البيئية، ضمن عالم مترابط يشهد تحولات طاقوية عميقة.⁸

هـ. البعد التكنولوجي: الأمن الطاقوي من منظور التكنولوجيا هو القدرة على ضمان استقرار واستدامة التزويد بالطاقة عبر تسخير الابتكارات الرقمية والذكاء الاصطناعي وتطبيقات الصيانة التنبؤية والأمن السيبراني، بما يضمن كفاءة الإنتاج والنقل والاستهلاك، وحماية البنى التحتية الحيوية من المخاطر التقليدية والرقمية على حد سواء.⁹

2. الانتقال الطاقوي كإطار عالمي جديد

نشأت مسألة الانتقال الطاقوي كنتيجة حتمية للضغوط البيئية وتغير المناخ الذي يهدد كوكب الأرض، وإدراكا بأن الاعتماد المستمر على الطاقات الأحفورية مثل النفط والفحم والغاز الطبيعي، يفاقم التحديات البيئية من خلال زيادة الانبعاثات الكربونية وتدهور المناخ، مما يضع العالم أمام مخاطر اقتصادية واجتماعية وصحية جسيمة. وقد أدت هذه الضغوط إلى إعادة التفكير في السياسات الطاقوية على المستوى العالمي، وظهور توجهات قوية نحو الطاقات المتجددة كحل بديل نظيف ومستدام.

1.2. تحديد مصادر الطاقة وأنواعها

تتعدد مصادر الطاقة وتشمل فئتين أساسيتين:

أ. الطاقات التقليدية أو الأحفورية: وهي تشمل النفط، الغاز الطبيعي، والفحم، والتي شكلت على مدى قرون العمود الفقري للاقتصادات الوطنية والعالمية. رغم أهميتها في دعم التنمية الصناعية والاقتصادية، فإن هذه المصادر محدودة الاستدامة ومرتبطة بشكل مباشر بزيادة الانبعاثات الكربونية، مما يعمق التحديات البيئية ويزيد من الضغوط على المناخ.

ب. الطاقات الحديثة والمتجددة: تشير الطاقات الحديثة والمتجددة إلى المصادر الطاقوية التي تعتمد على الموارد الطبيعية القابلة للتجدد، ويتميز بأثر بيئي منخفض مقارنة بالطاقات التقليدية. وتتمثل هذه الطاقات في مجموعة متنوعة من المصادر منها:

✓ الطاقة الشمسية: تستغل الطاقة الشمسية لإنتاج الكهرباء أو الحرارة من خلال تقنيات مثل الألواح الكهروضوئية والمحركات الحرارية الشمسية. وتمثل هذه الطاقة مصدرا نظيفاً مستداماً يعتمد على ضوء الشمس المتوفر على نطاق واسع، خاصة في المناطق ذات الإشعاع الشمسي العالي¹⁰.

✓ طاقة الرياح: تعد حركة الهواء العنصر الأساسي لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى الكهربائية عبر توربينات الرياح¹¹. كما أن الكهرباء المنتجة لا تحتوي على عنصر الكربون، وتعد المناطق المفتوحة ذات سرعة رياح مستقرة الأنسب لمثل هذا الإستثمار.

✓ الطاقة الكهرومائية: تعتمد على استغلال حركة المياه لتوليد الكهرباء. سواء عبر السدود الكبيرة أو المحطات الصغيرة. وتعتبر هذه الطاقة مصدراً متجدداً ومستداماً يمكن التحكم فيه وإدارته لتلبية الاحتياجات الطاقوية المتغيرة.

✓ طاقة الكتلة الحيوية والطاقة من النفايات: تستخلص هذه الطاقة من المخلفات العضوية والنفايات الزراعية والصناعية، سواء لإنتاج حرارة أو كهرباء أو حتى وقود حيوي. وتساهم في الحد من تلوث البيئة وإعادة تدوير المخلفات بشكل مستدام.

✓ مصادر أخرى: تشمل الطاقة الحرارية الأرضية والطاقة المحركة من الأمواج والمد والجزر، وهي طاقات متجددة أخرى يمكن استغلالها لتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وتحقيق تنمية طاقوية مستدامة.

2.2. تعريف الانتقال الطاقوي:

إن التباين بين محدودية الطاقات التقليدية وما تسببه من أزمات بيئية، وبين الطاقات المتجددة المستدامة ذات الأثر الإيجابي، أفرز الحاجة إلى مفهوم أشمل يتمثل في "الانتقال الطاقوي".

يقصد بالانتقال الطاقوي عملية التحول التدريجي من الاعتماد على نظام يعتمد أساساً على الطاقة الأحفورية المحدودة إلى نظام يركز على توسيع استخدام الطاقات المتجددة والنظيفة، في إطار سياسات واستراتيجيات تهدف إلى تحقيق توازن بين متطلبات التنمية المستدامة والأمن الطاقوي.

2.3. العلاقة بين أمن الطاقة والطاقات المتجددة.

أصبحت الطاقات المتجددة اليوم محوراً رئيسياً في صياغة السياسات الطاقوية العالمية، ليس فقط باعتبارها بدائل نظيفة للطاقات الأحفورية، بل كذلك بوصفها أداة استراتيجية لتحقيق الأمن الطاقوي بمختلف أبعاده. فمع تزايد الطلب العالمي على الطاقة وتنامي المخاوف من تقلبات أسواق النفط والغاز، برزت الطاقات المتجددة كوسيلة للحد من هشاشة الأنظمة الطاقوية، والعمل على ضمان استقرار الامدادات على المدى البعيد.

ومن منظور نظرية الاعتماد المتبادل، فإن الانتقال نحو الطاقات المتجددة يُخفف من حدة التبعية التقليدية التي ميزت العلاقات الدولية في مجال الطاقة، حيث كانت الدول المستوردة رهينة لتقلبات الأسواق العالمية وأزمات الإمدادات المرتبطة بالوقود الأحفوري. فالاعتماد على مصادر محلية متجددة كالطاقة الشمسية والرياح يقلل من انكشاف الدول المصدرة والمستهلكة. وبهذا يصبح الاستثمار في الطاقات المتجددة أداة لتعزيز الاستقلالية الطاقوية، دون أن يلغي في الوقت نفسه أشكال الترابط الجديدة التي تنشأ عبر شبكات التكنولوجيا والابتكار والتبادل التجاري للطاقة النظيفة.

إضافة إلى ذلك، يمكن تفسير صعود الطاقات المتجددة ضمن إطار نظرية التحول البنيوي، التي ترى أن التحول في بنية الاقتصاد نحو قطاعات أكثر ابتكارا واستدامة يساهم في إعادة تشكيل موازين القوة والمكانة بين الدول. فالدول التي تستثمر بفعالية في الطاقة الخضراء لا تحقق اكتفاء في احتياجاتها فحسب، بل تعيد أيضا صياغة موقعها في النظام الطاقوي العالمي، منتقلة من التابع لمصادر الطاقة التقليدية إلى دور الفاعل المنتج والمُصدّر للتكنولوجيا والمعرفة.

كما يتوافق إدماج الطاقات المتجددة ضمن السياسات الوطنية مع مقاربة الأمن الشامل، التي ترى أمن الدولة لم يعد يُقاس بقدرتها العسكرية أو بحجم احتياطياتها من الوقود الأحفوري، بل بقدرتها على تحقيق استدامة مواردها الطبيعية، وحماية بيئتها، وتنوع بنيتها الاقتصادية. وبهذا يصبح الأمن الطاقوي مفهوما مركبا ومتعدد الأبعاد يتجاوز مجرد "توفر الطاقة"، ليشمل اعتبارات الاستدامة البيئية، والعدالة الاجتماعية، والمرونة الاقتصادية.

وعلى ضوء هذه المقاربات النظرية، يتضح أن العلاقة بين الأمن الطاقوي والطاقات المتجددة لم تعد علاقة تكاملية فحسب، بل تحولت إلى إطار عالمي جديد يعكس التلاقي بين اعتبارات الاقتصاد، البيئة، والسياسة.

ثانيا: الهيدروجين الأخضر كبديل استراتيجي

يشكل الهيدروجين خيارا استراتيجيا للطاقة نظرا لقدرته على إنتاج طاقة نظيفة ومتجددة، وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري. كما يعزز الأمن الطاقوي للدول ويتيح سيادة واستدامة طاقوية، مما يجعله ركيزة أساسية في التحول الوطني والمستقبلي.

1. تعريف الهيدروجين وأنماط إنتاجه

1.1. تعريف الهيدروجين

يعد الهيدروجين أبسط العناصر الكيميائية ويرمز له بالرمز H_2 ، ومن خلال خصائصه الفيزيائية يمكن وصفه على أنه أخف الغازات وأسرعها اشتعالا، وأكثرها تواجدا في الطبيعة بحيث يتواجد في الماء بدرجة كبيرة كما يدخل ضمن المركبات العضوية في الكتلة الحيوية والوقود الأحفوري، بالإضافة إلى أن الهيدروجين غاز عديم الرائحة واللون وفق ظروف الحرارة العادية والضغط القياسية.¹²

2.1. تعددية أنماط إنتاج الهيدروجين

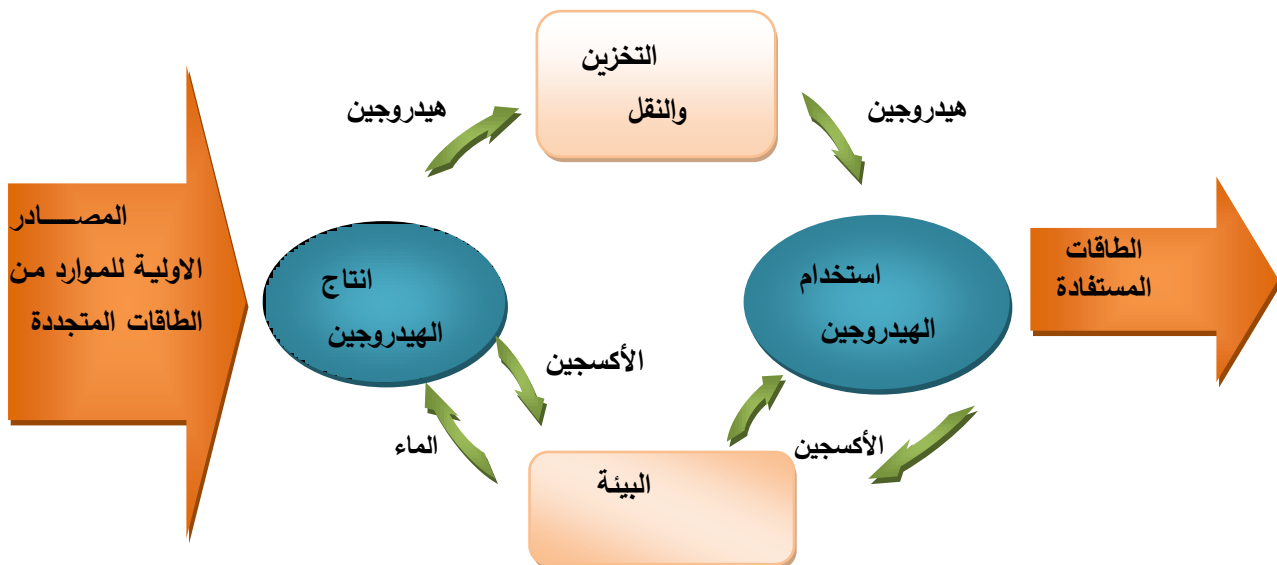
يتواجد الهيدروجين بوفرة في الطبيعة غير أنه لا يوجد في صورته الجزيئية الحرة، لهذا استخراجه يتطلب تقنيات وعمليات صناعية انطلاقا من مصادر مختلفة كالوقود الاحفوري أو الكتلة الحيوية أو الماء أو بناء على الموارد الأولية المستعملة والتقنية المعتمدة، يصنف الهيدروجين وفق ما يعرف بـ: "ألوان الهيدروجين" والتي تعكس البصمة الكربونية المرتبطة بعملية إنتاجه.

أ. **الهيدروجين الرمادي**: ينتج عادة من الغاز الطبيعي من خلال إعادة تشكيله بالبخر، تولد هذه التقنية كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون (CO₂) كمنتج ثانوي¹³، مما يجعل الهيدروجين الرمادي غير مستدام بيئيا. يستخدم هذا النوع في الصناعات الكيميائية وتكرير النفط نظرا لتكلفته المنخفضة مقارنة بالأنواع الأخرى من الهيدروجين.

ب. **الهيدروجين الأزرق**: ينتج أساسا من الغاز الطبيعي لا سيما الميثان باستخدام تقنية "إصلاح الميثان بالبخر" (SMR) والانبعاثات الكربونية يتم التقاطها وتخزينها تحت الأرض في إطار ما يعرف بتقنية "إحتجاز وتخزين الكربون" (CCS) ورغم أنه يعد أقل ضررا من الرمادي، إلا أنه يظل مرتبطا بمخاطر الانبعاثات الناجمة عن الوقود الأحفوري خصوصا تسربات غاز الميثان¹⁴.

ج. **الهيدروجين الأخضر**: يستخلص هذا النوع عبر تقنية التحليل الكهربائي للماء اعتمادا على الكهرباء المولدة من مصادر الطاقة المتجددة، كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وتتميز هذه العملية بكونها خالية من أي انبعاثات كربونية، ما يجعل الهيدروجين الأخضر الصديق الأمثل للبيئة والخيار الممتاز لتحقيق الانتقال الطاقوي المستدام واقتصاد منخفض الكربون¹⁵. يُفهم اقتصاد الهيدروجين بوصفه نظاما متكاملًا لتوفير الطاقة اعتمادا على الهيدروجين، تتأسس دعائمه على عمليات الإنتاج، التوزيع، التخزين والاستهلاك.

الشكل 1: دورة حياة الهيدروجين الناتجة عن الطاقات المتجددة



Source: Steinberger-Wilckens Robert et al, The Role of Hydrogen and Fuel Cells In Delivering Energy Security For The UK, H2FC SUPERGEN Hub White Papers, London, 2017, p36.

2. إمكانيات إنتاج الهيدروجين الأخضر من الطاقات المتجددة في الجزائر.

تعد كل من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح من الإمكانيات المتجددة التي تسهم بشكل كبير في إنتاج الهيدروجين في الجزائر غير أن تقييم هذه الموارد المتاحة وتقدير حجمها والتنبؤ بكمياتها ليس بالأمر السهل إذ يتطلب تقنيات وتكنولوجيا عالية الدقة،¹⁶ كبرامج نظم المعلومات الجغرافية ومحطات القياس المكاني لظواهر الارصاد الجوية.

1.2. إمكانيات الجزائر من إنتاج الهيدروجين الأخضر باستخدام الطاقة الشمسية.

تعد الجزائر من أبرز الدول عالميا من حيث الإمكانيات الشمسية، حيث تمتلك احتياطات ضخمة على الصعيد الدولي والأكبر في منطقة الحوض المتوسطي. وتُصنّف الصحراء الجزائرية ضمن كلٍّ من الولايات المتحدة الأمريكية وإيران. بفضل مساحتها الشاسعة التي تتجاوز مليوني كيلومتر مربع، وخصائصها المناخية التي تجعلها من أكثر المناطق تعرضًا لأشعة الشمس. إذ يصل معدل السطوع الشمسي السنوي الى ما يقارب 3900 ساعة في بعض المناطق، مع متوسط إشعاع يتراوح بين (4-7 كيلواط/سا) لكل متر مربع. وتؤكد المعطيات أن متوسط الطاقة المستخرجة يوميا على سطح أفقي يبلغ 5 كيلواط/ ساعة لكل متر مربع، وهو ما يعادل إنتاجية سنوية تُقدَّر بحوالي 1700 كيلواط/سا/م² في شمال البلاد، وترتفع لتبلغ أكثر في المناطق الجنوبية¹⁷. هذه الامكانيات تضع الجزائر في موقع استراتيجي يجعلها قادرة نظريًا على تلبية احتياجاتها الداخلية من الكهرباء على المدى الطويل، بل حتى المساهمة في تغطية جزء معتبر من الطلب العالمي ولا يقتصر دور الطاقات الشمسية في الجزائر على كونها مصدرا بديلا لتوليد الكهرباء، بل تشكل قاعدة صلبة لتطوير مشاريع الطاقات الجديدة، وفي مقدمتها إنتاج الهيدروجين الأخضر.

تشير التقديرات إلى أن استغلال الألواح الكهروضوئية الأحادية البلورية يمكن أن يتيح إنتاج كميات معتبرة من الهيدروجين الشمسي، فقد حققت المناطق الصحراوية مثل تامنراست وأدرار أعلى معدلات إنتاج باجمالي سنوي قدره 679 طن- 668 طن على التوالي، نظرا لغزارة الاشعاع الشمسي وتوفر المساحات الواسعة. تُظهر المناطق الشمالية لاسيما تلمسان وسكيكدة قدرات إنتاج معتبرة حيث تصل إلى 590 طن و539 طن سنويا على التوالي، والملاحظ أن هذه الأرقام تفوق إنتاج كبار المنتجين العالميين مثل ألمانيا (361 طن) وأستراليا (382) طن سنويا¹⁸. وتمثل هذه الكميات إمكانيات طاقوية واعدة تعادل مئات الغيغاواط/ساعة من الطاقة القابلة للتخزين أو التحويل، ما يجعلها رافدا مهما لتعزيز مزيج الطاقة الوطني وتنويعه. ويمكن استثمار الهيدروجين الشمسي في عدة مجالات استراتيجية، من أبرزها توليد الكهرباء عبر خلايا الوقود، تزويد وسائل النقل النظيف كالسيارات، الحافلات والقاطرات العاملة بالهيدروجين، بالإضافة إلى استخدامه كمدخل صناعي في قطاعات كالصناعات الكيماوية والبتروكيماوية وإنتاج الأسمدة كما يمكن للهيدروجين أن يسهم في تعزيز قدرة الجزائر على تخزين الطاقة المتجددة وتصديرها في شكل وقود نظيف نحو الأسواق الأوروبية، مما يعزز مكانتها كمصدر مستقبلي للطاقة المستدامة.

2.2. إمكانية انتاج الهيدروجين الأخضر باستخدام طاقة الرياح

تعد الجزائر من البلدان ذات الإمكانيات الواعدة في مجال طاقة الرياح، بفضل تنوعها الجغرافي والمناخي الذي يتيح استغلال هذه الطاقة المتجددة بشكل فعال، استنادا إلى أطلس الطاقة المتجددة الصادر عن مركز تنمية الطاقات المتجددة، تظهر البيانات أن الجزائر تتمتع بسرعات رياح تتراوح بين 4 و6 متر/ ثانية في العديد من المناطق، وهي سرعات مناسبة لتشغيل توربينات الرياح بفاعلية. تتوزع سرعات الرياح حسب المناطق فالمناطق الصحراوية تصل سرعة الرياح فيها إلى 6.3 متر/ ثانية وتسجلها ولاية أدرار كأعلى ذروة، مما يجعلها مثالية لإنشاء مزارع الرياح، كما قد تم تحديد مواقع مؤهلة لإنشاء محطات توليد الكهرباء بالطاقة الريحية في مناطق الهضاب العليا والتي تصل سرعة الرياح فيها بين 4 و5 متر/ الثانية. إن استغلال هذه الإمكانيات لا يقتصر على توليد الكهرباء، بل يفتح أفقا واسعة لإنتاج الهيدروجين الأخضر¹⁹.

مقارنةً بإمكانيات الطاقة الشمسية فإن إمكانيات الجزائر المحتملة من إنتاج الهيدروجين عن طريق طاقة الرياح متباعدة بين مختلف الولايات. فمثلا إنتاج الهيدروجين المحتمل في مناطق أدرار، تندوف وحاسي الرمل (الأغواط) تتميز بأكبر إنتاج سنوي. فموقع حاسي الرمل وحده تفوق قيمته الإنتاجية القصوى من الهيدروجين (18000 طن/ كم² / سنة)، أما المناطق الأخرى على سبيل المثال لا الحصر وهران سوق أهراس الجلفة تيارت، برج بوعريج، مستغانم وتيزي وزو يمكن أن يصل إنتاجها المحتمل من الهيدروجين حوالي (800 طن/ كم² / سنة)²⁰.

3. الهيدروجين الأخضر في السياسة الطاقوية الجزائرية

تبنّت الجزائر استراتيجية وطنية لتطوير الهيدروجين، باعتباره رافعة جديدة لسياستها الطاقوية، تهدف من خلالها إلى بناء سلسلة قيمة* متكاملة، والانفتاح على السوق الدولية، مع ضمان تلبية احتياجاتها الداخلية. ويمكن تلخيصها فيما يلي:²¹

أ. مقارنة تدرجية

- إطلاق مشاريع نموذجية وتجريبية لإنتاج الهيدروجين الأخضر.
- تطوير تقنيات النقل، التخزين، والتحويل
- تكوين الكفاءات الوطنية وتعزيز البحث والتطوير.

ب. مرحلة التوسع الصناعي:

- إطلاق مشاريع واسعة لإنتاج الهيدروجين الأخضر والأزرق.
- إدماج تقنيات احتجاز واستعمال تخزين الكربون (CCUS).
- استبدال الهيدروجين الرمادي في الصناعات القائمة (مثل البتروكيماويات).
- تطوير مشاريع لإنتاج الأمونياك واليوريا الخضراء.

ج. التكامل الصناعي:

- تطوير قاعدة صناعية محلية لإنتاج المعدات والمكونات المرتبطة بسلسلة قيمة الهيدروجين.
- تعزيز الاستقلالية التكنولوجية على المدى المتوسط.

د. الأفاق المستقبلية:

- جعل الجزائر فاعلا إقليميا رئيسيا في سوق الهيدروجين بحلول 2050.
- تحقيق توازن بين تلبية الطلب الداخلي وتصدير الفائض نحو الأسواق الدولية.
- المساهمة في تعزيز الأمن الطاقوي الوطني ودعم الانتقال الطاقوي المستدام.

4. أهم مشاريع الهيدروجين الأخضر في الجزائر

وانطلاقا من الأهمية الاستراتيجية التي تكتسيها مشاريع الهيدروجين وبالأخص الأخضر في مسار الانتقال الطاقوي للجزائر، أصبح من الضروري إبراز أبرز المبادرات والإتفاقيات التي أطلقت خلال السنوات الأخيرة، والتي تعكس توجه الدولة نحو تنويع مصادر الطاقة وتعزيز شراكاتها الدولية. ويوضح الجدول الآتي أهم المشاريع:

السنة	المشروع/ الاتفاقية	الشركاء	الهدف
2021	اتفاقية تعاون جزائرية- إيطالية حول الهيدروجين الأخضر.	الحكومة الجزائرية- إيطاليا	تطوير مشاريع بحثية وتجريبية في مجال الخيدروجين ²² .
2022	مشروع (SouthH2 Corridor) خط أنابيب.	Snam+VNG+Verbund+Gals إيطاليا+ألمانيا+النمسا+إسبانيا	نقل الهيدروجين الأخضر من الجزائر إلى أوروبا بحلول 2030 ²³
2023	مذكرة تفاهم بين الجزائر وإيطاليا	سوناطراك+إيني+شركاء أوروبيون	إنتاج ونقل الهيدروجين GH2*
2023	توقيع 50 اتفاقية إطار	الجزائر + عدة شركات اوروبية	تحضير مشاريع استثمارية
2023	مشروع "Taqathy Plus"	الجزائر + الاتحاد الأوروبي+ألمانيا	دعم الطاقة المتجددة، كفاءة الطاقة، تطوير مشاريع GH2 ²⁴
2024	مذكرة تفاهم لإنتاج الهيدروجين الأخضر.	Sonatrach+Hecate energy+Tosyali	إنتاج الهيدروجين لتغذية صناعة " الصلب الأخضر" ²⁵
2024	مشروع مشترك لتطوير الهيدروجين ومشتقاته	Sonatrach+Cepsa+Sonelgaz	إنتاج الهيدروجين الأخضر+تحويله إلى

أمونيا/ميثانول خضراء للتصدير. ²⁶			
تنفيذ الخطة الوطنية للهيدروجين وتصدير 20 مليون طن سنويا على المدى الطويل جزء من رؤية 2040.	الحكومة الجزائرية + شركاء دوليون	إطلاق برامج وطنية للهيدروجين الأخضر	2024
تصدير الهيدروجين إلى أوروبا بكميات كبيرة.	الجزائر + أوروبا	دخول خط SouthH2 الخدمة (مستهدف تحقيق)	2030
إنتاج 1.2 مليون طن للتصدير +300 ألف طن للإستهلاك المحلي. ²⁷	الحكومة الجزائرية	خطة وطنية للهيدروجين	2040

يتضح من الجدول أنّ مشاريع الهيدروجين الأخضر في الجزائر مازالت في مراحل متفاوتة بين الدراسات التمهيدية والتوقيع على مذكرات التفاهم، غير أنها تعكس توجهها إستراتيجيا نحو تنويع مزيج الطاقة، وتعزيز الشراكات الدولية، تمهيدا للانتقال من مرحلة التخطيط إلى مرحلة التنفيذ الفعلي خلال أفق 2030-2040.

5. تحديات إنتاج الهيدروجين الأخضر في الجزائر

تهدف الجزائر إلى تحقيق التنمية المستدامة من خلال تطبيق استراتيجيتها للانتقال الطاقوي حيث تسعى لإستغلال إمكاناتها الطبيعية الكبيرة في الطاقات المتجددة كالهيدروجين وبذلك تعزيز أمنها الطاقوي. غير أن إنتاج الهيدروجين الأخضر تواجهه العديد من التحديات تتمثل في الآتي²⁸:

أ. توفر البنية التحتية: إنتاج الهيدروجين تخزينه وتوزيعه، وهذا يتطلب بناء مرافق قاعدية ومنشآت فنية ذات معايير محددة وهذا قد يأخذ وقت كبير لإنجازها ويتطلب استثمارات ضخمة لتمويلها مايعتبر تحديا لتطور قطاع الهيدروجين.

ب. تكاليف الانتاج: رغم تطور تكنولوجيا إنتاج الهيدروجين إلا أن إرتفاع تكاليف الآلات والأجهزة التي تساهم في عمليات الانتاج، كعمليات التحليل الكهربائي قد تحد من تنافسيته في أسواق الطاقة.

ج. جذب الاستثمارات: يتطلب تطوير مشاريع الهيدروجين الحصول على مصادر تمويلية كبيرة و إستقطاب استثمارات ذات طابع طويل الاجل ومستقر ما قد يشكل عائق كبير في ظل اقتصاديات عالمية مضطربة.

د. التخزين والنقل: بسبب خصائص الهيدروجين الفيزيائية يتطلب نقله تقنيات جد متقدمة، وتخزينه سائلا او تحت ضغط عالي يستوجب تقنيات متطورة وباهضة.

هـ. سن القوانين والتشريعات: تطوير سوق الهيدروجين يتطلب من السلطات منح امتيازات وحوافز تخلق مناخ استثماري مشجع وواعد كالاغفاءات الضريبية والتسهيلات الادارية ولا يتأتى ذلك الا من خلال وضع نصوص قانونية وتشريعات تنظيمية واضحة تمتاز بالشفافية تعكس سياسة وتوجه الدولة.

و. استمرارية البحث التطوير: من أكبر تحديات إنتاج الهيدروجين هو اكتساب التكنولوجيا الحديثة فهي أساسية لرفع الكفاءة الانتاجية والحد من التكاليف ولا يكون ذلك الا بوجود استثمارات حقيقية موجهة لمخابر تطوير التقنيات الحالية والبحث العلمي المستمر للوصول لتقنيات أحدث وبذلك مواجهة التحديات.

ثالثا: التحليل الاستشرافي لمستقبل الهيدروجين في الجزائر: السيناريوهات الممكنة

سنعمل في هذا المحور على البحث عن مختلف السيناريوهات، من خلال تتبع مسارات تطور الهيدروجين الأخضر في الجزائر وذلك وفق السيناريوهات المستقبلية الممكنة. ويستند هذا الطرح إلى اعتماد مقاربات الاستشراف وفق المدرسة الفرنسية، وذلك من خلال:

- منهجية التحليل البنيوي* (Micmac Method): من أجل تحديد المتغيرات الأساسية المؤثرة في مستقبل قطاع الهيدروجين
- منهجية التحليل المورفولوجي (Morphological Method): لإستكشاف أشكال تطور الممكنة والبدائل المتاحة
- منهجية بناء السيناريوهات (Scenario Building Tools): من أجل صياغة مسارات مستقبلية محتملة للهيدروجين في الجزائر.

1. التحليل البنيوي للظاهرة (استخدام MicMac)

تُعرّف تقنية التحليل البنيوي بأنها منهجية تركز على بناء مصفوفة التأثيرات المتبادلة، حيث يتم تحليل تفاعل العوامل والأبعاد المختلفة فيما بينها، بهدف فهم ديناميكيات الظاهرة المدروسة. ما يسمح بتحديد المتغيرات الأكثر تأثيرًا وتحكمًا في مسار الظاهرة²⁹.

1.1. قائمة المتغيرات المدرجة في تطبيق ميكماك:

انطلاقا من المحاور السابقة، تم استخلاص مجموعة من المتغيرات والتي ستدرج في تطبيق ميكماك:

الرقم	المتغير	البعد/ الرمز
01	السياسات الوطنية الطاقوية	سياسي P2
02	الاستقرار السياسي والمؤسسي	سياسي p2

03	التمويل والاستثمارات في مشاريع الهيدروجين	E1 اقتصادي
04	تقلب أسعار الطاقة التقليدية	E2 اقتصادي
05	الطلب الداخلي على الطاقة	E3 اقتصادي
06	البنية التحتية لنقل وتخزين الهيدروجين	T1 تكنولوجي
07	مستوى البحث والتطوير في الطاقات المتجددة	T2 تكنولوجي
08	توفر الكفاءات البشرية	T3 تكنولوجي
09	تقبل المجتمع لبدائل الطاقة	S1 اجتماعي
10	الطلب العالمي على الهيدروجين	S2 اجتماعي
11	الشراكات الدولية (الاتحاد الأوروبي، آسيا)	G1 جيوسياسي
12	المنافسة الإقليمية (مصر، المغرب، الخليج)	G2 جيوسياسي
13	التشريعات والحوكمة الطاقوية	B1 مؤسساتي
14	التحديات البيئية والمناخية	E1 بيئي
15	ندرة المياه (ضرورة لإنتاج الهيدروجين الأخضر)	E2 بيئي

2.1. وصف طبيعة العلاقة بين المتغيرات

يهدف التحليل البنوي برصد العلاقات بين المتغيرات باستخدام مصفوفة ثنائية الأبعاد (قاعدة التحليل)، حيث يُقِيم تأثير كل متغير على الآخر بشكل نوعي. يُسأل لكل زوج من المتغيرات: هل يوجد علاقة تأثير مباشر بين المتغير (أ) والمتغير (ب)؟ ويُعطى رقم (0) لغياب العلاقة، ورقم (1) لعلاقة ضعيفة، (2) لعلاقة متوسطة، و(3) لعلاقة قوية، و(4) لعلاقة ممكنة³⁰. كما يمكن توسيع التحليل ليشمل التأثيرات: المباشرة المحتملة، غير المباشرة، وغير المباشرة المحتملة، لتقديم رؤية أشمل لشبكة العلاقات بين المتغيرات.

3.1. إدراج المتغيرات في برنامج (Micmac):

قبل ملء المصفوفة علينا أن نراعي تصنيف المتغيرات بناءً على طبيعة تأثيرها وتأثيرها، وذلك لضمان فهم واضح لشبكة العلاقات بين المتغيرات، وسنوضح ذلك من خلال الجدول التالي:

الجدول 1. تصنيف المتغيرات وأنواع التأثيرات في التحليل البنوي

التصنيف	النوع	الوصف
حسب طبيعة المتغير	مؤثر	يمتلك قدرة واضحة على التأثير في متغيرات أخرى (قوي أو ضعيف)
	متأثر	يتأثر بالمتغيرات الأخرى بدرجات متفاوتة
	متوسط التأثير والتأثر	يلعب دوراً متوازناً بين التأثير والتأثر، وقد يكون مركزياً في الشبكة.
	إيجابي/سلبي	يحدد اتجاه تأثير المتغير
	مستمر/متقطع	بعض المتغيرات قد تتوقف عن التأثير لفترة ثم تعاود

التأثير	حسب طبيعة التأثير
المتغيرات المدركة يمكن رصد أثرها مباشرة ، وغير مدركة ضمن التأثيرات المحتملة	مدرك/غير مدرك
تأثير واضح بين متغير وآخر (ضعيف، متوسط، قوي)	مباشر
تأثير ينتقل عبر متغيرات وسيطة	غير مباشر
تأثير محتمل نتيجة تفاعلات متعددة، لكنه غير محسوس مباشر	غير مباشر محتمل
	حسب نوع التأثير

المصدر: من إعداد الباحثة اعتمادا على قلاية سليم محمد، التحليل الهيكلي تتبع العلاقات وملئ المصفوفة برنامج

Micmac، محاضرات مقياس الاستشراف، كلية العلوم السياسية والعلاقات الدولية، جامعة الجزائر3.

الشكل 2. ملء مصفوفة (الميكماك)

	1: p1	2: p2	3: E1	4: E2	5: E3	6: T1	7: T2	8: T3	9: S1	10: S2	11: G1	12: G2	13: I1	14: EN1	15: EN2
1: p1	0	3	3	2	2	3	2	2	2	3	3	2	3	3	3
2: p2	3	0	3	2	2	3	2	2	2	3	3	2	3	3	3
3: E1	3	3	0	2	3	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3
4: E2	2	2	2	0	3	2	2	2	2	3	2	2	2	3	3
5: E3	2	2	3	3	0	2	2	2	2	3	2	2	3	3	3
6: T1	3	3	3	2	2	0	3	3	2	3	3	2	3	3	3
7: T2	2	2	3	2	2	3	0	2	2	2	2	2	3	3	3
8: T3	2	2	2	2	2	3	2	0	2	2	2	2	2	3	3
9: S1	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2	3
10: S2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	0	3	2	3	3	3
11: G1	3	3	3	2	2	3	2	2	2	3	0	2	3	3	3
12: G2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	3
13: I1	3	3	3	2	3	3	3	2	2	3	3	2	0	3	3
14: EN1	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	0	3
15: EN2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0

© IPSOR-EPITA-MICMAC

بعد ملء المصفوفة والقيام بالعمليات التقنية للوصول إلى النتائج، أظهر البرنامج ملأئة وصحة المصفوفة

وتطابقها مع المؤشرات المطلوبة وهذا ما يظهره الجدول التالي:

المؤشر	القيمة
حجم المصفوفة	225
عدد التكرارات	1
عدد القيم الصفرية	169
عدد قيم (1)	0
عدد قيم (2)	56
المجموع	225
نسبة ملء المصفوفة	%24.9

4.1. تحديد المتغيرات المفتاحية في تطور المنظومة

يعد تحديد المتغيرات المفتاحية خطوة مجهرية في التحليل البنيوي، إذ تمثل العناصر الأكثر تأثيراً في ديناميات المنظومة وتطورها، يعتمد في البداية على الترتيب المباشر الذي يبرز العلاقات المباشرة بين المتغيرات، غير أن هذا الأسلوب يظل محدوداً في قدرته على إظهار الدور البنيوي العميق لبعض المتغيرات. ومن هنا تأتي أهمية أداة ميكماك (Micmac) التي تقوم على تكثيف العلاقات المتقاطعة، مما يسمح باستخلاص ترتيب غير مباشر يبرز شبكة أوسع من الترابطات. وبذلك، يمكن الكشف عن متغيرات تؤدي أدواراً محورية في المنظومة بفعل تأثيراتها الغير المباشرة، وهو ما لا يسمح به التصنيف المباشر وحده.

أ. تحليل مصفوفة كل من (التأثير المباشر والمباشر المحتمل وغير مباشر وغير المباشر المحتمل).

أظهر تحليل المصفوفة أن المتغيرات المحورية والتي تمثل القوة المحركة للنظام الطاقوي، بمعنى أي تغيير فيها يؤدي إلى تأثير كبير على بقية المتغيرات والمتمثلة في: البنية التحتية للهيدروجين، التمويل والاستثمارات، الطلب العالمي للهيدروجين، التشريعات والحوكمة، ندرة المياه، إذ سجلت أعلى مستويات في التأثير المباشر والمباشر المحتمل، وهو ما يعكس دورها المحوري في إعادة تشكيل النظام الطاقوي.

كما بينت النتائج أن المتغيرات مثل السياسات الوطنية الطاقوية، الاستقرار السياسي والمؤسسي وكذا البحث والتطوير والتحديات البيئية المناخية تدرج ضمن فئة المتغيرات ذات التأثير المباشر المتوسط، حيث تظهر بوضوح خانة التأثير غير المباشر بما يعزز أهميتها كعوامل داعمة لعمل المتغيرات المحورية. في المقابل، احتلت متغيرات أخرى مثل تقبل المجتمع، المنافسة الإقليمية، الكفاءات البشرية، الطلب الداخلي، والشراكات الدولية موقعا ثانويا، حيث تميزت بمستويات ضعيفة من التأثير المباشر والغير مباشر على بقية المتغيرات، ما يجعلها عوامل هامشية أكثر منها محدّدة لمسار النظام.

تكشف هذه النتائج أن الدينامية العامة للنظام ترتكز بالأساس على مجموعة محدودة من المتغيرات القوية، في حين تعمل بقية المتغيرات إما في اتجاه داعم أو تكميلي أو تبعي، وهو ما يبرز ضرورة التركيز على المحاور الأكثر تأثيراً عند صياغة السياسات الطاقوية المستقبلية.

ب. المكونات الرئيسية المؤثرة في الظاهرة.

بناءً على التحليل السابق وقراءة مخطط توزيع المتغيرات على الرسم البياني داخل قاعدة البيانات لكل

أنواع التأثيرات، يمكن تلخيص المكونات الرئيسية للظاهرة كما يلي:

- السياسات الوطنية الطاقوية: تمثل المحدد المركزي لاتجاهات النظام الطاقوي.
- الاستقرار السياسي والمؤسسي: عامل حاسم في استدامة القرارات وتطوير البنية التحتية.
- البنية التحتية للهيدروجين: المتغير التقني_العملي الأكثر حساسية لنجاح التحول الطاقوي.
- البحث والتطوير: عنصر مفتاحي لامتلاك المعرفة وتكييف التكنولوجيا.
- الطلب الداخلي على الطاقة: محدد مباشر لحجم التوجه نحو الاستغلال أو التوسع.

- الطلب العالمي على الهيدروجين: يمثل محركا خارجيا يوجه فرص التصدير والاندماج في السوق العالمية.
 - الشركات الدولية: قناة أساسية لنقل التكنولوجيا وتعبئة التمويل.
 - التشريعات والحوكمة: متغير تنظيمي يحدد قواعد اللعبة ويؤطر باقي المتغيرات.
 - التحديات البيئية والمناخية وندرة المياه: محددات بيئية - إيكولوجية تضغط على صانع القرار وتفرض قيودا على الخيارات.
- بعد تحديد المكونات الرئيسية للظاهرة المدروسة وتصنيف المتغيرات الأساسية وفقاً لدرجة تأثيرها وتأثيرها داخل النظام، يصبح من الضروري الانتقال إلى التحليل المورفولوجي باعتباره أداة استشرافية تمكن من استكشاف مختلف السيناريوهات الممكنة، انطلاقاً من التفاعلات المحتملة بين المتغيرات.

2. التحليل المورفولوجي للظاهرة

يهدف إلى ترتيب النظام المدروس بشكل منظم لاستكشاف جميع التطورات الممكنة انطلاقاً من دراسة التوافقات الناتجة عن تفكيك النظام. تبدأ العملية بتقسيم النظام أو الظاهرة إلى أنظمة فرعية صغيرة، مع التركيز على اختيار المتغيرات الأساسية التي تعكس طبيعة النظام بشكل كاف. يتيح هذا التفكيك تحليل النظام بدقة واستكشاف حلول توافقية³¹، ويستند إلى نتائج التحليل البنوي والنظريات والدراسات السابقة. بعد ذلك، يتم إدخال المعلومات في برنامج التحليل المورفولوجي على المنصة المخصصة (Scenaring Tools).

1.2. عرض السيناريوهات الجزئية.

أ. السيناريو الإيجابي / المستدام (الاحتمال الكلي 25 - 30%)

في هذا السيناريو، تتسم الجزائر ببيئة سياسية مستقرة ومؤسسات قوية، ما يعزز الثقة لدى المستثمرين والشركاء الدوليين. يتم توجيه التمويل بشكل كبير نحو مشاريع الهيدروجين، مدعوماً بشراكات دولية، مما يؤدي إلى بناء بنية تحتية متكاملة والتطوير المحلي. السياسة الطاقوية واضحة، مع إعطاء أولوية قصوى للطاقات الجديدة، ويزداد الطلب الداخلي على الطاقة بشكل معتدل ومتوازن، بينما يواصل ارتفاع الطلب العالمي على الهيدروجين.

المتغير	اتجاه التطور	الوصف	احتمالية
الطلب الداخلي على الطاقة	نمو معتدل ومستدام للطلب	الطلب ينمو بشكل متوازن مع تحسين الكفاءة وتلبية الاحتياجات.	30%
التشريعات والحوكمة	إطار تشريعي متطور وداعم	تحديث القوانين والسياسات الحكومية لتعزيز الشفافية ودعم الاستثمار والابتكار.	25%
الاستقرار السياسي والمؤسسي	استقرار سياسي ومؤسسي قوي	مؤسسات قوية، الاستقرار يعزز التخطيط طويل المدى	20%
الشركات الدولية	نشاط متزايد للشركات الدولية	دخول شركات كبيرة استثمارات وشراكات استراتيجية، نقل التقنيات	30%

التحديات المناخية وندرة المياه	إدارة مستدامة للتحديات المناخية	سياسات للتكيف مع تغير المناخ ونقص المياه، تعزيز الطاقة المتجددة	20%
الطلب العالمي على الهيدروجين	زيادة كبيرة في الطلب العالمي	فرص تصدير عالية وتحفيز الاستثمارات في مشاريع الهيدروجين.	25%
البحث والتطوير في الهيدروجين	تعزيز البحث والتطوير وابتكار محلي	استثمارات وشراكات دولية، ابتكار حلول تقنية محلية	20%
البنية التحتية للهيدروجين	تسارع تطوير البنية التحتية	استثمارات كبرى وشراكات دولية، ابتكار حلول تقنية محلية	25%
السياسة الطاقوية تجاه الهيدروجين	سياسة داعمة للهيدروجين	سياسة واضحة واستراتيجيات وطنية وتشريعات خاصة، أولوية قصوى للطاقة النظيفة	20%
التمويل والاستثمار في الهيدروجين	استثمارات كبيرة وتمويل قوي	ضخ استثمارات كبيرة من الدولة والقطاع الخاص، دعم تمويلي دولي، تسريع تطوير القطاع.	25%

ب. السيناريو الوسط / المعتدل (45 - 50%)

يتسم هذا السيناريو بالاستقرار السياسي الهش والمحدود، مع وجود تمويل تدريجي ومحدود للمشاريع الطاقوية، تتوسع البنية التحتية والهيدروجين الأخضر تدريجيا، مع اعتماد سياسة طاقوية غامضة وغير مستقرة. البحث والتطوير يشهد تحسنا نسبيا، لكن دون تحقيق قفزة نوعية، والطلب الداخلي والعالمي على الطاقة والهيدروجين الأخضر ينمو بشكل تدريجي ومتوسط.

المتغير	اتجاه التطور	الوصف	احتمالية
الطلب الداخلي على الطاقة	نمو تدريجي محدود	الطلب ينمو تدريجيا دون اختلال كبير	50%
التشريعات والحوكمة	تحسن محدود في التشريعات	استمرار الوضع الحالي مع تحسينات جزئية	50%
الاستقرار السياسي والمؤسساتي	استقرار هش	استقرار سياسي نسبي مع توترات اجتماعية أو مؤسسية	50%
الشركات الدولية	نشاط محدود أو مستقر	استمرار الوضع الحالي دون زيادة كبيرة في النشاط أو الاستثمار	50%
التحديات المناخية وندرة المياه	تحديات قابلة للإدارة	ندرة مياه محدودة يمكن إدارتها، استقرار نسبي للظروف المناخية.	50%
الطلب العالمي على الهيدروجين	زيادة معتدلة للطلب العالمي	نمو تدريجي للطلب مع تحسين القدرات الانتاجية المحلية.	45%
البحث والتطوير في الهيدروجين	تحسن نسبي في البحث و التطوير	مشاريع محدودة، تتحسن تدريجيا دون تحقيق قفزة نوعية	50%

البنية التحتية للهيدروجين	توسع تدريجي محدود	مشاريع تجريبية محدودة، توسع تدريجي غير متوازن	50%
السياسة الطاقوية تجاه الهيدروجين	سياسة غامضة وغير مستقرة	تذبذب الأولويات بين الطاقات التقليدية والجديدة، تأخر تبني إطار شامل	50%
التمويل والاستثمار في الهيدروجين	استثمارات كبيرة وتمويل قوي	موارد التمويل محدودة، توسع تدريجي للمشاريع دون قفزة نوعية.	50%

ج. السيناريو السلبي / المتحدي (20 - 30%)

في هذا السيناريو، تواجه الجزائر عدم استقرار سياسي ومؤسسي، مع ضعف التمويل والاستثمار في قطاع الهيدروجين. السياسة الطاقوية محافظة وتركز على الطاقات الأحفورية، البنية التحتية تتعثر، البحث والتطوير ضعيف، والطلب الداخلي والعالمي على الطاقة والهيدروجين غير متوازن. القطاع يبقى تابعا لمبادرات أجنبية، مع قدرة محدودة على المنافسة الدولية.

المتغير	اتجاه التطور	الوصف	احتمالية
الطلب الداخلي على الطاقة	زيادة غير متوازنة في الطلب	ارتفاع الطلب بشكل سريع وغير متوازن، يزداد الاعتماد على الاستيراد	20%
التشريعات والحوكمة	تشريعات ضعيفة وغير واضحة	ضعف التشريعات وبطء تحديث السياسات، زيادة المخاطر القانونية والإدارية	25%
الاستقرار السياسي والمؤسسي	عدم استقرار سياسي و مؤسسي	اضطرابات سياسية ومؤسسية تعرقل التخطيط طويل المدى وتنفيذ المشاريع الطاقوية	30%
الشركات الدولية	تراجع دور الشركات الدولية	انخفاض الاستثمارات والتقنيات الحديثة، زيادة المخاطر على القطاع المحلي	20%
التحديات المناخية ونُدرة المياه	ارتفاع المخاطر المناخية ونقص المياه	درجات حرارة مرتفعة، جفاف مستمر، انخفاض إنتاجية الطاقة التقليدية والمتجددة.	30%
الطلب العالمي على الهيدروجين	انخفاض الطلب العالمي	تباطؤ التحول الطاقوي، الحاجة لتطوير السوق المحلي قبل الاستراتيجي	30%
البحث والتطوير في الهيدروجين	ضعف التمويل واعتماد على التكنولوجيا المستوردة	استمرار ضعف التمويل وغياب الرؤية الاستراتيجية، الاعتماد على مشاريع صغيرة أو أجنبية	30%
البنية التحتية للهيدروجين	تعثر أو ركود البنية التحتية	تأخر أو ضعف تطوير البنية التحتية، الاعتماد على مشاريع صغيرة أو أجنبية	25%
السياسة الطاقوية تجاه الهيدروجين	سياسة محافظة تركز على الطاقات الأحفورية	إعطاء الأولوية للنفط والغاز الطبيعي، التحول الطاقوي بطيء وتدرجي.	30%

التمويل والاستثمار في الهيدروجين	ضعف التمويل والاستثمار	نقص التمويل الداخلي وغياب الاستثمارات الأجنبية، عرقلة تطوير القطاع.	25%
----------------------------------	------------------------	---	-----

2.2. المصفوفة النهائية للسيناريوهات المستقبلية للهيدروجين الأخضر والأمن الطاقوي في الجزائر

انطلاقاً من نتائج التحليل البنوي والتحليل المورفولوجي، أمكننا بلورة مجموعة من السيناريوهات المستقبلية الممكنة الخاصة بـ "الهيدروجين الأخضر كطاقة بديلة لتحقيق الأمن الطاقوي الجزائري"، والتي جرى تقليصها وتصنيفها وفق أسس علمية ومنهجية، وصولاً إلى ثلاث سيناريوهات رئيسية تمثل مختلف المسارات المحتملة إلى غاية أفق 2040.

السيناريو	سيناريو سلبي التعثر والمخاطر الطاقوية	سيناريو معتدل التوسع التدريجي والتقدم المرحلي	سيناريو إيجابي الريادة الطاقوية والتحول الاستراتيجي
الاستقرار السياسي والمؤسسي	عدم استقرار سياسي ومؤسسي	استقرار هش ومحدود	استقرار سياسي ومؤسسي قوي
السياسة الطاقوية تجاه الهيدروجين	سياسة محافظة تركز على الطاقات الأحفورية	سياسة غامضة وغير مستقرة	سياسة داعمة للهيدروجين وواضحة
التمويل والإستثمار	ضعف التمويل والاستثمار	تمويل محدود أو تدريجي	استثمارات كبيرة والتمويل قوي
البنية التحتية للهيدروجين	تعثر أو ركود	توسع تدريجي محدود	تسارع التطوير وبنية تحتية متكاملة.
البحث والتطوير	ضعف التمويل والاعتماد على التكنولوجيا الأجنبية	تحسن نسبي ومحدود	تعزيز البحث والتطوير وابتكار محلي
الطلب الداخلي على الطاقة	زيادة غير متوازنة أو منخفضة	نمو تدريجي محدود	نمو متوازن ومستدام
التشريعات والحوكمة	تشريعات ضعيفة وغير واضحة	تحسين محدود في التشريعات	إطار تشريعي متطور وداعم
الشركات الدولية	تراجع النشاط الدولي	نشاط محدود أو مستقر	نشاط متزايد واستثمارات استراتيجية
التحديات المناخية والمناخ وندره المياه	ارتفاع المخاطر ونقص المياه	تحديات قابلة للإدارة	إدارة مستدامة للتحديات المناخية
الطلب العالمي على الهيدروجين	انخفاض أو ثبات	زيادة معتدلة	زيادة كبيرة وتحفيز الاستثمار

توفر المصفوفة النهائية للسيناريوهات تصورا شاملا للمسارات المحتملة لتطوير قطاع الهيدروجين الأخضر في الجزائر، مع مراعاة تأثير المتغيرات الأساسية على الأمن الطاقوي الوطني. وبالنظر إلى مستوى التقدم الحالي والسياسات الوطنية، من المرجح أن يتحقق سيناريو الوسط " التوسع التدريجي والتقدم المرحلي " بحلول أفق 2040، مع نمو محدود للبنية التحتية والهيدروجين الأخضر. وفي هذا الإطار يمكن فهم الأمن الطاقوي الجزائري بوصفه عملية ديناميكية تهدف إلى التوفيق بين ضمان الإمدادات الوطنية، والحفاظ على الدور الجيوسياسي كمصدر رئيسي للطاقة، والإنخراط التدريجي في مسار الانتقال الطاقوي بما ينسجم مع متطلبات التنمية المستدامة. وعليه، فلأمن الطاقوي الجزائري ليس حالة ثابتة، بل مسار يتشكل وفق السياسات الوطنية الراهنة والقدرة على استشراف التحديات المستقبلية.

الخاتمة

لقد أظهرت الدراسة أن مفهوم الأمن الطاقوي يشمل مجموعة من الأبعاد الهيكلية البنيوية والاقتصادية والسياسية والبيئية والجيوسياسية، ويهدف إلى ضمان توافر الطاقة بشكل مستدام وكلفة معقولة، مع القدرة الدول على التكيف مع تقلبات السوق والتحديات الخارجية. ويعد الانتقال الطاقوي نحو الطاقات المتجددة عاملا محوريا لتعزيز الأمن الطاقوي، إذ يساهم في تقليل من استخدام المصادر الأحفورية، وتحسين الاستدامة البيئية، وتعزيز قدرة الدولة على مواجهة الضغوط العالمية.

كما توضح الدراسة أن الجزائر تتمتع بإمكانات واعدة لإنتاج الهيدروجين الأخضر مدعومة بوفرة الطاقة الشمسية والرياح، بالإضافة إلى موقعها الجغرافي والاستراتيجي والموارد المائية المتاحة نسبيا في بعض المناطق. ومع ذلك، يواجه تطوير هذا القطاع تحديات كبيرة، تشمل ضعف التمويل، نقص البنية التحتية المتخصصة، الحاجة لتعزيز البحث والتطوير، ومحدودية الشراكات الدولية في ظل سياسة طاقوية وطنية لا تزال في مرحلة الانتقال.

استنادا إلى هذا التحليل، توصي الدراسة بما يلي:

- تعزيز الإطار المؤسسي والسياسي لضمان استقرار القرار الطاقوي وتنفيذ الاستراتيجيات بفاعلية.
- وضع سياسة واضحة ومتكاملة للهيدروجين الأخضر ضمن رؤية شاملة للطاقات المتجددة.
- زيادة الاستثمارات والتمويل في البحث والتطوير لتعزيز الابتكار المحلي وتقليل الاعتماد على التكنولوجيا المستوردة.
- تطوير البنية التحتية لإنتاج والتخزين ونقل الهيدروجين الأخضر بشكل مستدام.
- إدارة الموارد المائية والمخاطر المناخية لضمان استدامة القطاع.
- تعزيز الشراكات الدولية لدعم نقل التكنولوجيا والاستثمار في مشاريع استراتيجية.
- استخدام أدوات الإستشراف بشكل دوري لمراجعة السيناريوهات وتحديث السياسات بما يتماشى مع التغيرات المحلية والعالمية.

الهوامش:

¹ Yergin Daniel, "The War over Resources: Energy Security will be one of The Main Chllenges of Foreign Policy, <https://bit.ly/4mkwFO2> , 200610,09,2025,

² Chester Lynne, Does The Polysomic Nature Of Energy Security Make it a "wicked" Problem? World Academy of Science Engineering and Technology, 2009, p1276

³ لوبيزيسيل فيليب، الجغرافيات السياسية للبترو، تر: نجاة الصليبي الطويل، ط1، هيئة أبو ظبي للسياحة والثقافة مشروع كلمة، 2013، ص16.

⁴ Bochkarev Danila, Austin Greg, Energy Sovereignty and Security: Restoring Confidence in a cooperative International System, East West Institute, New York, 2007, p7.

⁵ Winrow Gareth, Geopolitics and Energy Security in Wider Black Sea Region, Southeast European and Black Sea studies, vol7, N°2, 2007, p219.

⁶ Sovacool Benjamin K, Conceptualizing and Measuring Energy Security: A Synthesized Approach, ScienceDirect, vol 36, N°8, 2011, p5343.

⁷ Elkhtat Ahmed, Al-Muntaseb, Climate Change and Energy Security: A Comparative Analysis of the Role of Energy, Policies in Advancing Envirnmnal Sustainability, 2024, vol17, N°13, p3179

⁸ Wang Qiang, Ren Fen, Li Rongrong, Geopolitics and Energy Security: A Comprehensive Exploration of Evolution, Collaborations, and Future directions, Humanities and Social scinces Communications, p22-23, <https://bit.ly/4nBhpgS> , 2024, 10,09,2025.

⁹ International Energy Agency (IEA), Digitalization and Energy, Paris: IEA, <https://url-shortener.me/56P2> , 2017, 08,09,2025.

¹⁰ عابي وليد، مومن سميرة ، شنن نبيل، الاستثمار في الطاقات المتجددة كمدخل لتحقيق التنمية المستدامة حالة الجزائر ، مجلة الإقتصاد الدولي والعولمة، م.2، ع.2، 2019، ص74.

¹¹ Urban Innovative Action, Energy Transition, UIA Initiative, p1, <http://bit.ly/3InaKYr> , 10,09, 2025.

¹² بدري عبد العزيز، طاقة الهيدروجين كبديل طاقي جديد في العالم وامكانية استخدامه كوقود في الجزائر، دكتوراه، كلية العلوم الاقتصادية والتسيير والعلوم التجارية، 2019، ص70.

¹³ حواسني صليحة، الاتجاهات الحديثة في تحقيق الأمن الطاقوي المستدام في الجزائر: الهيدروجين الأخضر بين الرؤية المستقبلية وتحديات الواقع، مجلة معهد العلوم الاقتصادية، مجلد27، العدد01، الجزائر، 2024، ص44.

¹⁴ رامي شبانة، ثولفغانغ هيدنغ، تسيير إنتاج الهيدروجين الأزرق من أجل مستقبل منخفض الكربون اعتماد الانبعاثات وتخزين ثاني أكسيد الكربون، مركز الملك عبد الله للدراسات والبحوث البترولية، الرياض، 2024، ص4.

¹⁵ أمينة محمد حسني وآخرون، الهيدروجين الأخضر كمصدر من مصادر الطاقات الجديدة والمتجددة، مجلة البحوث التطبيقية في العلوم والإنسانيات، كلية التربية، جامعة عين الشمس، مصر، المجلد2024، 01، ص201-204

¹⁶ Rahmouni S, et al, Prospects of hydrogen production potential from renewable resources in Algeria, Int Hydrogen Energy, 2016, p5

¹⁷ Ministère de l'énergie, Energies Nouvelles, Renouvelables et Maitrise de l'énergie, <https://url-shortener.me/56OR> , 10, 09, 2025.

¹⁸ BencheninaH, et al, Green hydrogen production in Algeria through solar energy and sustainable water sources: A feasibility study using HOMER Pro, Scientific Reports, 2025, p5.

¹⁹ شيخي بلال، العيسي علي، واقع وآفاق طاقة الرياح في الجزائر، مجلة المقار للدراسات الاقتصادية، المركز الجامعي تيندوف، العدد.01، 2018، ص306

²⁰ بدري عبد العزيز، مرجع سبق ذكره، ص104.

* تعني جميع المراحل والخطوات التي يمر بها المنتج منذ البداية (المواد الأولية) حتى النهاية (الاستخدام)، بمعنى المسار الذي يسلكه الهيدروجين من لحظة إنتاجه إلى المستهلك.

²¹ Ministère de l'Energie, Algérie. Stratégie national de l'hydrogène, 2023, p17, <https://2u.pw/zMar2>, 10,09,2025.

²² مصطفى هبة، ألمانيا تعزز خطط استيراد الهيدروجين... المغرب والجزائر ومصر ضمن ثمانية فرص عربية، موقع منصة الطاقة، 4 أوت 2024

²³ الشاغل حسن، مقارنة الجزائر نحو أمن الطاقة المتجددة (تقرير تحليلي)، مركز أبعاد للدراسات الإستراتيجية، 2024، ص7. * GH2 اختصار يمكن استعماله للإشارة للهيدروجين الأخضر.

²⁴ APS, Renewable Energy : « Taqathy Plus » Project Launched in Partnership with EU and Germany, <https://2u.pw/jYsBo6>, 2025, 12,09,2025.

²⁵ GreenH2, Sonatrach, Hecate Energy and Tosyali Sign Agreement for Green Hydrogen in Algeria, 2023, <http://bit.ly/41T5dQ4>, 12,09,2025

²⁶ Moeve Global, Cepsa and Sonatrach Agreement for Green Hydrogen in Algeria, <http://bit.ly/4pnuUIT>, 2024, 12,09,2025.

²⁷ Algeria Invest, Hydrogène vert: L'Algerie prévoit d'exporter 1.2 million de tonnes et consommer 300.000 toons, <https://2u.pw/KK25nb>, 2024, 12,09,2025.

²⁸ طيب سعيدة، الهيدروجين الأخضر كحامل للطاقة المستدامة في الجزائر، المجلة الجوائية للعلوم الاجتماعية والإنسانية، المجلد 13، العدد 01، 2025، ص.ص 153-154.

* قام بتطويرها كل من فابريس روبلا وميشيل غوديه، توفر التقنية إمكانية وصف منظومة بواسطة قاعدة تربط بين مجموعة العناصر المكونة لها والهدف منها إبراز المتغيرات المؤثرة والتابعة، ومن ثم، المتغيرات الأساسية في تطوير نظام الظاهرة المدروس.

²⁹ غودية ميشال، دوران فيليب، الهامي قيس، الاستشراف الاستراتيجي للمؤسسات والأقاليم، تعريب: محمد سليم قلالة، قيس الهامي، الكونسارفاتوار الوطني للفنون والحرف (ليسبور العربي)، مخبر الابتكار، الاستشراف الاستراتيجي والتنظيم، ص98.

³⁰ قلالة سليم محمد، التحليل الهيكلي تتبع العلاقات وملئ المصفوفة برنامج Micmac، محاضرات مقياس الاستشراف، كلية العلوم السياسية والعلاقات الدولية، جامعة الجزائر 3، 2014، ص18.

³¹ ميشال غوديه، مرجع سبق ذكره، ص843.