# مستقبل الهيدروجين الشمسي في الجزائر (المشروع المغربي–الأوروبي)

د.لعمى أحمد،

أ.رحمان آمال.

جامعة قاصدي مرباح – ورقلة

dr.ahmed58@yahoo.fr
r.amel70@yahoo.fr

**ملخص:** إن الهيدروجين كطاقة نظيفة سوف يسمح بالتأكيد بتخفيض كبير للمشاكل المرتبطة بالتلوث ومن ثم حماية البيئة. وبذلك فان اقتصاد يعتمد على الهيدروجين و يستند إلى هيدروجين ذو مصدر متجدد و غير ملوث هو هدف بيئي ذو جاذبية هائلة. فطاقة الهيدروجين يمكن إنتاجها من مصادر تقليدية أو من مصادر متجددة كالطاقة الشمسية.

إن دول العالم و من بينها الجزائر وجدت نفسها اليوم أمام احتياج حقيقي لتطوير قطاع الهيدروجين، ليس فقط من جانب الوسائل المالية وإنما أيضا من جانب الكفاءة، المعرفة العميقة لكيفية التصرف وتحويل التكنولوجيا.

وأمام سعي الدول المغربية عامة و الجزائر خاصة لتطوير قطاع الهيدروجين الشمسي تم الإعلان عن مشروع للشراكة مع دول جنوب أوروبا سمي المشروع المغربي–الأوروبي للهيدروجين الشمسي.

**الكلمات الدالة:** الهيدروجين، الهيدروجين الشمسي، حماية البيئة، الجزائر، المشروع المغربي–الأوروبي.

**Résumé:** L'hydrogène comme énergie propre permettra certainement une réduction substantielle des problèmes associés à la pollution et de protéger l'environnement. Alors, l'économie basée sur d'hydrogène et surtout l'hydrogène produit d'une source d'énergie renouvelable et non-polluante est un objectif environnemental d'une grande attraction. L'énergie de l'hydrogène peut être produit à partir de sources traditionnelles ou à partir de sources renouvelables comme l'énergie solaire.

Les pays du monde, y compris l'Algérie, s'est retrouvée face à une réelle nécessité de développer le secteur d'hydrogène, non seulement par des moyens financiers mais aussi par l'efficacité, la connaissance approfondie de la façon de disposer et de transfert de technologie.

les pays du nord Afrique en générale et l'Algérie spécialement ont fait des efforts pour développer le secteur d'hydrogène solaire et pour cela ils ont annoncé le projet Maghreb-Europe.

**Mots clés:** l'hydrogène, l'hydrogène solaire, protection de l'environnement, l'Algérie, Projet Maghreb-Europe .

**مقدمة:**

من المنتظر أن يلعب الهيدروجين دورا رياديا في مجال الطاقة في المستقبل، ولاسيما وأن المواد الأولية لإنتاجه غزيرة، ودائرة إنتاجه واستعماله تمتاز بتوافق عالي مع شروط التنمية المستدامة. وبإمكان نظام طاقوي يعتمد على الهيدروجين كحامل طاقوي أن يجعل المصادر الطاقوية المتجددة في متناول المستهلك. والتطور التكنولوجي المتزايد الذي نتابعه في مجالات إنتاج الهيدروجين وأساليب تخزينه وطرق نقله وميادين استعماله سيفرضه حتما على نطاق واسع.

إن الهيدروجين كطاقة نظيفة سوف يسمح بالتأكيد بتخفيض كبير للمشاكل المرتبطة بالتلوث ومن ثم حماية البيئة. وبذلك فان اقتصاد يعتمد على الهيدروجين و يستند إلى هيدروجين قابل للتجديد و غير ملوث هو هدف بيئي ذو جاذبية هائلة.

وتعتبر الجزائر حاليا من الدول الأساسية في العالم المنتجة للهيدروجين من خلال المحروقات (النفط، الغاز الطبيعي)، ولكن توافرها على طبقة مياه جوفية (غير مستغلة كليا) في الجنوب ومياه البحر في الشمال بالإضافة إلى الحقل الشمسي الضخم حيث أن المدة المشمسة كبيرة وهي من بين اكبر الفترات المشمسة في العالم، ناهيك عن توفر مساحات كبيرة في صحراء الجزائر لإقامة المنشات الضرورية لجمع و تحويل الطاقة الشمسية و كذا توفر الأنابيب لضخ الهيدروجين الشمسي من مناطق الجنوب إلى الشمال... كل هذه العوامل تتيح فرصة للجزائر لتطوير طاقة يكون الطلب العالمي المستقبلي عليها كبير جدا، كما أن هذا يفتح للجزائر آفاقا واعدة في مجال التحول إلى الهيدروجين الشمسي.

وأمام سعي الدول المغربية عامة و الجزائر خاصة لتطوير قطاع الهيدروجين الشمسي تم الإعلان عن مشروع للشراكة مع دول جنوب أوروبا سمي المشروع المغربي–الأوروبي للهيدروجين الشمسي حيث كلف مركز تطوير الطاقات المتجددة بالجزائر بتنسيق الجهود على مستوى الدول المغربية وعهدت مسؤولية تنسيق الجهود على مستوى الدول الواقعة شمال ضفة البحر الأبيض المتوسط للشركة الأوروبية لتكنولوجيات الهيدروجين.

من خلال هذه الورقة البحثية يمكن طرح الإشكالية التالية: ما هي إمكانيات الجزائر في مجال الهيدروجين الشمسي؟ وما هو مستقبل هذه الطاقة في الجزائر في ظل التحديات البيئية الراهنة؟

**المحور الأول: الهيدروجين كمصدر للطاقة.**

**1. اقتصاديات الهيدروجين:**

كان العالم البريطاني هنري كفنديش أول من اكتشف الهيدروجين في مداخلة في الجمعية الملكية في لندن عام 1776، ثم كتب عنه جول فيرن سنة 1874 حيث تنبأ بقدوم عهد للهيدروجين: **"اعتقد أن الماء سيصبح يوما وقودا و الهيدروجين و الأكسجين المكونة له ستعمل منفردة أو متحدة و ستكون مصدر للحرارة و الضوء لا ينضب و بكثافة لا يملكها الفحم... الماء هو فحم المستقبل"**[1].

إن الهيدروجين هو العنصر الأكثر انتشارا في الكون إذ يمثل 75% من كتلة الكون و 90% من الجزيئات التي تكونه[2].

حيث يندر وجود الهيدروجين على شكل عنصر نقي في الطبيعة بل يوجد على شكل مركبات متحدة فيها مع معادن و عناصر أخرى قد يزيد عددها عن 92 عنصر، وقد يكون من ابرز تلك المركبات اتحاد الهيدروجين مع الأكسجين مشكلا الماء الذي يغطي نحو ثلاثة أرباع مساحة الكرة الأرضية، كما يختزن في جوفها متحدا مع الكربون مكونا النفط و الغاز الطبيعي، و قد يكون ممتصا على شكل هيدريدات بواسطة بعض المعادن كالليثيوم و التيتانيوم...الخ. وهكذا فإن هذا العنصر يمكن أن يلعب دورا هاما كمصدر للطاقة البديلة.

إن اقتصاد الهيدروجين هو نظام مقترح لتوزيع الطاقة باستخدام الهيدروجين. بما أن الهيدروجين غير متوافر بشكل حر في الطبيعة لذلك لا بد من إنتاج الهيدروجين من التحليل الكهربائي للماء أو أحد الطرق المعروفة الأخرى. وعدم توافره في الطبيعة يجعل منه حاملا للطاقة (مثل الكهرباء) وليس مصدرا رئيسيا للطاقة (مثل الفحم). إن الفائدة من اقتصاد الهيدروجين تعتمد على القضايا المتعلقة بمصادر الطاقة مثل استخدام الوقود الأحفوري والتغير المناخي وتوليد الطاقة المتجددة[3].

إن جميع البلدان الصناعية في العالم تسعى اليوم لتمويل مشاريع تطوير قطاع الهيدروجين، حيث يظهر هذا الأخير يوما بعد يوم كحامل مستقبلي للطاقة وقادر على الحلول محل الطاقات الاحفورية على المدى المتوسط و الطويل.

هذه الوضعية الجديدة نتجت عن تفاعل مجموعة من العوامل منها[4]:

- الاستنزاف المتزايد لمصادر الطاقة الاحفورية.
- تزايد الطلب العالمي على الطاقة خصوصا في الدول السائرة في طريق النمو.
- إمكانية تحويل جميع مصادر الطاقة الأولية (أحفورية، نووية، متجددة) إلى هيدروجين ما يعطي هذا الأخير خاصية حامل شامل للطاقة.
- غياب التلوث المرتبط بالتكنولوجيات الجديدة لاستعمال الهيدروجين و الضرورة الملحة لحماية البيئة وخاصة تخفيض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.
- ضرورة البحث عن تكنولوجيات مستدامة وتطوير مصادر الطاقة المتجددة.
- خلق مناصب عمل و الفرص الجديدة المرتبطة بالتطور في القطاع الصناعي للهيدروجين.
- الآثار الاقتصادية و المالية الناتجة عن هذا القطاع الجديد الذي هو في مرحلة تطور.
- الفوائد المتوخاة من التطور الملحوظ المسجل في السنوات الأخيرة في تكنولوجيات استعمال الهيدروجين خصوصا في مجال خلايا الوقود.

يعود تعبير اقتصاد الهيدروجين لشركة جنرال موتورز اكبر مصنع سيارات في العالم. فبالفعل بدا المهندسون في جنرال موتورز سنة 1970 بالكشف عن إمكان استعمال هذا الغاز كوقود. و في شهر ماي أي ثلاثين سنة بعد ذلك و بعد جهود كثيرة فتحت الطريق تبينت إمكانية الحياة لاستعمال طاقة الهيدروجين[5].

وتعتبر أيسلندة أول بلد في العالم يعتمد اقتصاد الهيدروجين كليا حيث أعلنت في شهر فيفري عام 1999 أنها بدأت مخططا على المدى البعيد طموحا و شجاعا لاعتماد اقتصاد الهيدروجين، و يسند الشروع في هذا البرنامج إلى شركة تربط ثلاث شركات متعددة الجنسيات و ست مؤسسات أيسلندية، حيث يتحكم المساهمون الأيسلنديون بـــ 51% من هذا المشروع المشترك. كما أن هناك مشروع آخر مشابه هو قيد الانجاز في هاواي، هذه الولاية التي تستورد الأساسي من نفطها من آسيا و ألاسكا بالطرق البحرية تطمح في الوصول إلى الاكتفاء الذاتي الطاقوي باستغلال مواردها من الحرارة الباطنية الوافرة وكذلك الطاقة الشمسية من اجل إنتاج الهيدروجين.

## 2. مراحل صناعة الهيدروجين:

### أ. طرق إنتاج الهيدروجين:

نظرا لعدم تواجد الهيدروجين غاز بالطبيعة فيستوجب توفير الطاقة اللازمة لتحريره من الجزيئات التي يدخل في تكوينها. تحتل المصادر الاحفورية الصدارة من بين المصادر المستعملة في إنتاجه ينتج 96% من الهيدروجين عن طريق الكيمياء الحرارية، و منها 48% من الغاز الطبيعي و 30% عن طريق روفرماج للمواد الكربوهيدراتية، و 18% عن طريق تحويل الفحم إلى غاز أي ما يسمى بتغويز الفحم. و 4% الباقية من إنتاج الهيدروجين يتم عن طريق التحليل الكهربائي للماء. ولقد وصل حجم الإنتاج العالمي من الهيدروجين سنة 2002 إلى 500 مليار متر مكعب تحت ظروف الضغط والحرارة العادية[6].

لقد كان الغاز الطبيعي ارخص مصدر للهيدروجين تاريخيا و في هذه الحالة يرسل ثاني أكسيد الكربون المنتج ببساطة إلى المدخنة، هذا ويمكن أن يكون ثاني أكسيد الكربون مصدرا ثمينا لرفع نسبة استخلاص النفط من المكمن، وذلك إذا كان بالإمكان إنشاء مصانع لإنتاج الهيدروجين من الغاز الطبيعي المصاحب للنفط حقليا.

يصبح الفحم الخيار الثاني عندما لا يتوفر الغاز الطبيعي، وقد كان الفحم الوقود الأصلي لإنتاج غاز الماء قبل قرنين من الزمن ثم طورت شركة تكساكو الطريقة الحديثة لإنتاج الهيدروجين من الفحم قبل أن تصبح جزء من شيفرون/تكساكو. وبطريقة التحليل الكهربائي يبدو إنتاج الأكسجين و الهيدروجين أسهل شيء في الوجود، فالطريقة معروفة منذ مائتي سنة وقد استخدمت تجاريا لخمسة وسبعين سنة من هذه السنين.

إن إنتاج الهيدروجين بالطرق الكلاسيكية أي من خلال الطاقة الاحفورية ليس له أهمية كبيرة لأنه يؤدي إلى انبعاث غازات الاحتباس الحراري،كما انه من المفيد استعمال الطاقة الاحفورية مباشرة دون المرور بالهيدروجين. ومن ثم فان إنتاج الهيدروجين سوف يكتسي أهمية بالغة إذا تم إنتاجه بطرق نظيفة أي باستعمال الطاقات المتجددة (الطاقة الشمسية، طاقة الرياح، طاقة الحرارة الجوفية...) من اجل إنتاج الكهرباء الضرورية للتحليل الكهربائي.

تأتي طرق إعداد الهيدروجين من الفيزياء و الكيمياء أو من البايولوجيا و يمكن تلخيص طرق إنتاج الهيدروجين فما يلي[7]:

- **التحليل الكهربائي**: وهي الطريقة الأكثر شيوعا ويتم ذلك عن طريق تمرير تيار كهربائي في الماء مما يؤدي إلى تحليله إلى عنصريه، وتصل نسبة الكفاءة هنا إلى 80% تنخفض إلى 30% بحساب كفاءة عملية توليد الكهرباء من مصدر آخر. ومن ثم فان البعض يرى أن الاستخدام الناجح للمصادر الأولية للطاقة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح وغيرها والتي قد تكون في مناطق بعيدة عن مراكز العمران يكمن في استخلاص الهيدروجين الذي ينقل بشتى الطرق إلى تلك المراكز لاستهلاكه.
- **التحليل الحراري**: ويتم ذلك بتسخين بخار الماء إلى 2500°م وعندئذ يتحلل الماء إلى عنصريه الهيدروجين و الأكسجين، يتم الحصول على الأول و التخلص من الثاني إذا لم تكن هناك حاجة إليه، لكن المشاكل التي تعترض هذه الطريقة تتمثل في الحصول على الحرارة اللازمة لهذه العملية والتي لا تتوفر حتى في المفاعلات النووية فمياه وغازات التبريد لا ترتفع حرارتها إلى أكثر من 800°م، كذلك فان الطاقة الشمسية وغيرها لا توفر هذا القدر من الطاقة، وتوفير الأجهزة والأدوات القادرة على تحمل درجات الحرارة هذه هي أيضا مشكلة أخرى.

- **الطريقة الكيميائية الحرارية:** وتعتمد على تفاعل الماء مع بعض المركبات الكيميائية في درجات حرارة عالية تصل إلى 800°م مما يؤدي إلى تحلل الماء بعد سلسلة من التفاعلات. وتعترض هذه الطريقة مشكلة الحرارة العالية من ناحية وإجراء سلسلة من التفاعلات بعد الحصول على الهيدروجين لإعادة المواد والمركبات المستخدمة إلى طبيعتها الأولى.
- **التركيب الضوئي والتركيب الضوئي للطحالب:** تتم عملية التركيب الضوئي بطريقة عكسية في الماء عما يحدث في الهواء الطلق حيث تطلق الطحالب الهيدروجين بدلا من الأكسجين وهذا يعني انه يمكن الحصول على الهيدروجين دون الحاجة إلى مصادر طاقة أخرى غير الطاقة الشمسية ولكن يعاب على هذه الطريقة انخفاض نسبة كفاءتها 1-2% في الطبيعة و 9% في المعامل كما أنها بحاجة إلى مساحات كبيرة جدا من المناطق المزودة بالطحالب لتوفير كميات اقتصادية من الهيدروجين.

يمكن لإنتاج الهيدروجين عن طريق التحلل الحراري أو التحويل بالكيمياء الحرارية للكتلة العضوية أن يستجيب لطلب محدود وموقعي على الهيدروجين كحامل للطاقة. أما إنتاج الهيدروجين عن طريق التحلل الكهربائي للماء فهو جد واعد ما دام هذا الإنتاج يهدف إلى خزن الطاقة من أصل متجدد وغير منتظم في الإمداد. يستعمل الفائض من الطاقة الكهربائية المنتجة بشكل وفير وغير منتظم في الزمان في إنتاج الهيدروجين وتخزينه لحين الحاجة إليه أو نقله إلى مكان الطلب.

**ب. خزن الهيدروجين و نقله:**

هناك ثلاث طرق سائدة لخزن الهيدروجين[8]:

- كغاز هيدروجين في خزانات ذات ضغط عال وهذه الطريقة لها الأفضلية.
- كسائل مبرد جدا.
- كمزيج من سائل بارد و هيدروجين صلب.
- إمكانية خزن الهيدروجين من خلال امتصاصه في مادة سائلة أو صلبة.

ورغم أن الطريقتين الاولتين هما قيد الاستخدام الآن إلا أنهما تحتاجان إلى ظروف محكمة، فضغط الخزان يكون عادة بين 34.5 إلى 69 ضغط جوي.

لكي نتمكن من الاستعمال الفعال للهيدروجين كحامل للطاقة في المستقبل، فلابد من اعتماد نظام موثوق به قادر على خزن الهدروجين دونما خطر تسربه وقادر على الاستجابة للمتطلبات الطاقوية سواء من ناحية الجودة أو التكاليف وتنكب حاليا مجموعات من فرق البحث على هذه المسألة التي رصد لها ميزانيات هامة ضمن برامج البحث والتطوير في هذا الميدان. فخزن الهيدروجين على العموم لا يطرح أي مشكل تقني أكثر من الغاز الطبيعي. إلا أن ضعف الكثافة الطاقوية الحجمية لديه تعوق استعماله في حالته الغازية في وسائل النقل نظرا لكبر حجمه. واستعمال الهيدروجين سائل ينهي مشكلة الحجم، إلا أن التكلفة الطاقوية لتسييل نفس الكمية من الهيدروجين هي أكبر أربعة أضعاف منها عند ضغط الهيدروجين إلى 700 بار . فضغط الهيدروجين إلى 700 بار يستوجب 10% من الكمية الطاقوية المتوفر عليها الغاز قبل ضغطه في حين يستوجب تسييل الغاز 40% من الطاقة الأصلية للغاز قبل تسييله. يعتبر الخزن الكيماوي للهيدروجين في مواد هيدريدية عن طريق الامتصاص أو الخزن الفيزيائي عن طريق الامتزاز في كريات دقيقة أو في مواد كربونية ذات بنيات مكونة من أوعية دقيقة، من التقنيات الواعدة والمرشحة لأن تلعب دورا هاما في مجال تخزين الهيدروجين وخاصة في ما يخص استعماله في النقل[9].

لا يتعدى حاليا إنتاج الهيدروجين حاجيات محدودة، سواء كان إنتاجه في نفس مكان الاستعمال والخاص ببعض الصناعات التي تستهلك كميات كبيرة منه. ينقل كذلك على شكل سائل في حاويات خاصة أو في شاحنات خزانة لمسافات قصيرة أو في باخرات خاصة لنقل الهيدروجين سائل لمسافات طويلة، ويظل نقل الهيدروجين مضغوط في حاويات للغاز مقتصرا بالخصوص على تغطية حاجيات المختبرات. ومن المنتظر أن تستعمل القنوات الخاصة بنقل الغاز عبر الدول والقارات بشكل واسع، وأن تقوم بنقل الكميات الكبيرة من الهيدروجين غاز الذي ستنتجها المركبات الشمسية في المستقبل. يوجد حاليا العديد من القنوات المستعملة لنقل غاز الأكسجين وغاز الآزوت وكذلك غاز الهيدروجين لمئات الكيلومترات، 1500كيلومتر من هذه القنوات توجد بأوروبا و 700 كيلومتر توجد بالولايات المتحدة[10].

**المحور الثاني: قدرات الجزائر وإمكانية استعمال الهيدروجين الشمسي كمصدر للطاقة:**

**1. فجر اقتصاد الهيدروجين ذو المصدر المتجدد:**

يوجد نوعان من حوامل الطاقة و هما الكهرباء و التي تمثل ربع الاحتياج للطاقة في العالم و الوقود الذي يمثل ثلاثة أرباع الاحتياج الكلي للطاقة.

ويعتقد العلماء بان الوقود المناسب الذي من شانه المحافظة على البيئة من التلوث و ذا الكفاءة العالية كوقود و كحامل للطاقة هو الهيدروجين. فالهيدروجين وسط لنقل و تخزين الطاقة و حلقة وصل بين الطاقة و المستهلك. و يعتقد بأنه الحل الأمثل لتخزين الطاقات المتجددة المتقطعة أو التي لا تتصف بالديمومة مثل الإشعاع الشمسي و الرياح. كما انه وسيلة لنقل الطاقة من أماكن توافرها إلى أماكن استخدامها. و فكرة إنتاج الهيدروجين ليست جديدة و إنتاجه من بعض مصادر الطاقة المتجددة أيضا قديمة، فقد اقترح هالدين عام 1923 إنتاج الهيدروجين من تحليل الماء كهربائيا و ذلك باستخدام طاقة الرياح كمصدر كهرباء للمحلل الكهربائي و من ثم استخدام الهيدروجين كوقود. و في عام 1927 اقترح ستيوارت إنتاج الهيدروجين بواسطة المساقط المائية و استخدامه أيضا كوقود. أما المهندس الألماني ادجستي فقد أوضح بان نقل الطاقة في شكل هيدروجين ارخص من نقلها عبر خطوط الكهرباء[11].

**2. أهم الانجازات العالمية في مجال الهيدروجين الشمسي:**

في الوقت الحاضر ينتج الهيدروجين بواسطة الطاقة الشمسية الملتقطة بالعناصر الضوئية أو بواسطة الأبراج المنشأة في مناطق غنية بالإشعاع الشمسي كأفريقيا والسعودية، والمحطة الأولى في العالم التي استخدمت فيها الطاقة الشمسية الملتقطة بالعناصر الضوئية لإنتاج الهيدروجين كانت في السعودية.

في ألمانيا أعدت برامج كبيرة لاستغلال الهيدروجين الشمسي منها البرنامج السعودي الألماني و الذي يتم دعمه من قبل أمانة العلوم و الفنون و أمانة البحث و التقنية في ألمانيا بما قيمته 25% من المشروع لكل منهما و تساهم السعودية بقيمة 50% الباقية و بدأت الخطوات التنفيذية للمشروع عام 1986 [12]. انتهى المشروع عام 1992 وأصبح ينتج 170000م$^3$ سنويا من الهيدروجين[13].

وترتب على هذا البرنامج إقامة مشاريع تجريبية في كل من ألمانيا و السعودية. احد هذه المشاريع أقيم بألمانيا بستيتغارت حيث يبلغ متوسط الإشعاع الشمسي 1000 كيلوات ساعي للمتر المربع/سنة و بقدرة 10 كيلو وات، و الآخر بقدرة 2 كيلو وات بجامعة الملك عبد العزيز بالسعودية، كما أقيم مشروع بقدرة 35 كيلو وات في قرية شمسية في السعودية قرب الرياض حيث يبلغ متوسط الإشعاع الشمسي 2300-2500 كيلوات ساعي للمتر المربع/سنة. هذه المشاريع تهتم بتطوير استخدام الهيدروجين الشمسي و التخطيط

لاستخدامه. و من المشاريع الأخرى القائمة في ألمانيا مشروع (solar-wasser stoff-Bayern) و الذي تساهم فيه 5 شركات ألمانية، و يهدف المشروع إلى اختبار منظومة إنتاج هيدروجين شمسي متكاملة تحت ظروف الإشعاع الشمسي في أوروبا و تطوير المنظومة لأفضل الأداء. و يبلغ متوسط الإشعاع الشمسي في هذا الموقع (جنوب ألمانيا) 1100 كيلوات ساعي للمتر المربع/سنة [14].

بالإضافة إلى هذه المشاريع قامت ألمانيا ببناء منزل شمسي لإنتاج الهيدروجين، وتم تغطية 40 م$^2$ من سطحه بالخلايا الشمسية التي تقوم بإنتاج التيار الكهربائي وتخزينه في مدخرات ومن ثم استخدم لإنتاج الهيدروجين والأوكسجين حيث يتم تخزين كل منهما في أوعية خاصة، والطاقة المختزنة يمكن استخدامها في الشتاء من أجل الطبخ أو تسخين المياه أو التدفئة ويتوقع أن ينقل الهيدروجين المستخرج بالطاقة الشمسية مستقبلا مثل النفط والغاز في أنابيب[15].

### 3. الهيدروجين الشمسي في الجزائر:

إن الهيدروجين في الجزائر الذي كان و لا يزال إن صح التعبير إلى حد الآن ذو طابع تصوري، هذا الأخير عرف مبادرات كبرى منذ 2003 ولكن لا يزال الوقت مبكرا لاستخلاص النتائج، ولكن اجتماع الرهانات الطاقوية، البيئية والمناخية بالإضافة إلى فرص السوق على المدى القصير والمتوسط بالنسبة لخلايا الوقود يعطي نوع من القوة لهذه الانطلاقة.

إن تأثير استعمال هذا المورد الجديد على الحضارات، المؤسسات الاقتصادية، السياسية والاجتماعية يقودنا اليوم لرؤية واضحة للميادين الأساسية للبحث والتطوير التكنولوجي والتي يمكن أن تدمج في مراكز البحث والجامعات الجزائرية بالتعاون مع البلدان الأكثر تطورا في هذا المجال.

إن الجزائر وجدت نفسها اليوم أمام احتياج حقيقي لتطوير قطاع الهيدروجين، ليس فقط من جانب الوسائل المالية وإنما أيضا من جانب الكفاءة، المعرفة العميقة لكيفية التصرف وتحويل التكنولوجيا.

وتعتبر الجزائر حاليا من الدول الأساسية في العالم المنتجة للهيدروجين من خلال المحروقات (النفط، الغاز الطبيعي)[16] ، ولكن توافرها على طبقة مياه جوفية (غير مستغلة كليا) في الجنوب ومياه البحر في الشمال بالإضافة إلى الحقل الشمسي الضخم (المدة المشمسة كبيرة وهي من بين اكبر الفترات المشمسة في العالم إذ يصل متوسط الإشعاع الشمسي فيها إلى 3000 ساعة مشمسة/سنة وبمعدل شدة إشعاع تقـــدر بـــ 2000 كيلوات ساعي للمتر المربع/سنة[17]) كل هذه العوامل تتيح فرصة للجزائر لتطوير طاقة يكون الطلب العالمي المستقبلي عليها كبير جدا، كما أن هذا يفتح للجزائر آفاقا واعدة في مجال التحول إلى الهيدروجين الشمسي. كما يمكن للجزائر إنتاج الهيدروجين من طاقات متجددة أخرى كطاقة الرياح والطاقة الجيوحرارية إذ أن لها احتياطيات مهمة من هذه المصادر.

**المحور الثالث: المشروع المغربي الأوروبي للهيدروجين الشمسي**

في دراسة قامت بها مؤسسة صناعات الطاقة الشمسية في أمريكا وصفت قوة الطاقة الشمسية الكامنة في منطقة شمال إفريقيا بقولها " **هذه المنطقة لديها المصدر الأعظم للطاقة الشمسية، كونها صحراء أو شبه صحراء جافة لا تملك غير النفط و الغاز اللذين يتناقص احتياطيهما باستمرار، يبدو أن الطاقة الشمسية هي الخيار المنطقي الوحيد**"، و من ناحية أخرى فان الاتحاد الأوروبي طلب من أعضائه زيادة الطاقة الكهربائية المنتجة من مصادر متجددة خلال ثماني سنوات بداية من 2004 [18].

هذا المصدر الكبير للطاقة الشمسية يقع في مواجهة أوروبا على الشاطئ الجنوبي، حيث تتوفر بعض البنى التحتية اللازمة لنقل الطاقة إلى أوروبا مثل خطوط الأنابيب تحت البحر و الناقلات. انه بالإمكان بناء و تشغيل أول محطة شمسية تجريبية لإنتاج الهيدروجين بالتعاون بين البلدان التي تعاني من التلوث و المحتاجة للطاقة النظيفة و لديها التكنولوجيا المتقدمة (البلدان الأوروبية) و بين البلدان التي تتوفر فيها الطاقة الشمسية النظيفة و لكن تنقصها التكنولوجيا (بلدان شمال إفريقيا).

### 1. صحراء شمال إفريقيا الكبرى:

تغطي الصحراء الكبرى حوالي ربع مساحة القارة الإفريقية و تمثل اكبر صحراء في العالم، و يبلغ متوسط شدة الإشعاع الشمسي الساقط على المتر المربع 8 جيغا جول في السنة، مع سطوع شمسي لساعات طويلة يوميا، و حوالي 80% من الأرض غير مستغلة في أي نشاطات بشرية و تستقبل ما يقرب من 68 بليون تيرا جول في السنة، و هذه الكمية أكثر مليون مرة من الإنتاج السنوي لمنظمة الدول المصدرة للنفط OPEC. و هذا يؤهلها بان تكون مصدر غير محدود للطاقة النظيفة التي يمكنها أن تلبي احتياجات أوروبا و إفريقيا من الطاقة لسنوات طويلة[19].

### 2. التعاون المغربي الأوروبي في مجال الهيدروجين الشمسي:

#### أ. نقل الطاقة الشمسية عبر القارات:

بما أن الدول الصناعية هي أكثر الدول قلقا على مخزون الوقود الاحفوري و أكثر استهلاكا للطاقة و بما أن الإشعاع الشمسي يتركز في مناطق 30–40 درجة شمالا و جنوبا من خط الاستواء، نجد أن هذه الدول تفكر جديا في استيراد الطاقة الشمسية من هذه المناطق. وذلك عن طريق تحويل هذه الطاقة إلى طاقة كيميائية (إنتاج الهيدروجين) ثم نقلها إلى أماكن استخدامها في هذه الدول. و الاتجاه السائد لدى هؤلاء العلماء هو تركيب خلايا شمسية في المناطق الصحراوية المنتشرة على الكرة الأرضية وذلك لتوليد الكهرباء ثم استخدام الكهرباء الناتجة في محللات كهربائية لتحليل الماء إلى عنصريه ثم تخزين و نقل الهيدروجين الناتج لاستخدامه في الأغراض المختلفة.

ولقد فكر الألمان منذ عدة قرون مضت في استيراد الطاقة الشمسية من الدول الإفريقية الغنية بالإشعاع الشمسي و التي يصل فيها الإشعاع الشمسي ضعف قيمته في وسط أوروبا (2380–2630 كيلو وات ساعي للمتر المربع/سنة) في شكل هيدروجين ينقل كغاز في أنابيب الغاز الطبيعي الموجودة حاليا و التي تمر من الجزائر عبر تونس و البحر المتوسط إلى ايطاليا أو نقله مسالا في أوعية خاصة عبر السفن في البحر و من ثم توزيعه في أوروبا و استخدامه في الأغراض المختلفة كطاقة حرارية أو طاقة كهربائية عبر خلايا الوقود أو كوقود في قطاع المواصلات أو في الأغراض الصناعية و غيرها.

وفي إحدى الدراسات التي قام بها العلماء عن تصدير الطاقة الشمسية من شمال إفريقيا إلى أوروبا تمت مقارنة ثلاثة أساليب لنقل هذه الطاقة و هي نقلها على شكل كهرباء عبر خطوط الجهد العالي بتيار مستمر أو نقلها في شكل وقود أو طاقة كيميائية عن طريق توليد الهيدروجين في موقع محطات الطاقة الشمسية ثم نقل هذا الهيدروجين عن طريق أنابيب أو الخلط بين النظامين السابقين. وفي هذه الدراسة ستقام مدينة لمعالجة المياه في مدينة سرت في تونس و مد أنابيب المياه إلى محطة إنتاج الهيدروجين في مدينة عين صالح بالجزائر و ذلك لمسافة 1000 كم. و قد وجد أن الطريقة الأخيرة هي الأكثر اقتصادا. ففي النظام المختلط من المقترح انه سيتم نقل 80% من الطاقة الشمسية على شكل هيدروجين و 20 % على شكل كهرباء. و ستستخدم أنابيب نقل الغاز الطبيعي المستخدمة حاليا لنقل الغاز من الجزائر إلى ايطاليا كما أن خطوط الكهرباء ستسلك نفس الطريق[20].

**ب. إنشاء المشروع المغربي الأوروبي:**

إن الشراكة بين دول جنوب أوروبا والجزائر يمكن أن تتحقق خلال السنوات القادمة من خلال المشروع المغربي–الأوروبي للهيدروجين الشمسي حيث كلف مركز تطوير الطاقات المتجددة بالجزائر بتنسيق الجهود على مستوى الدول المغربية وعهدت مسؤولية تنسيق الجهود على مستوى الدول الواقعة شمال ضفة البحر الأبيض المتوسط للشركة الأوروبية لتكنولوجيات الهيدروجين[21].

تم اتفاق مجموعة من الخبراء (الجزائر، فرنسا، اليونان، اسبانيا، ايطاليا، ألمانيا، سويسرا، تركيا، المملكة المتحدة، ليبيا، تونس، المغرب، مصر) على إنشاء هذا المشروع من خلال إعلان الجزائر خلال المؤتمر العالمي حول طاقة الهيدروجين في 14 جوان 2006، حيث ابرز هؤلاء الخبراء ثقتهم حول استغلال القدرات الشمسية الهائلة لدول المغرب لإنتاج الهيدروجين الشمسي على مستوى عالي من خلال إنشاء اتحاد شركات كبرى وميلاد مشروع مستقبلي كبير مشروع المغرب–أوروبا[22].

**ج. أهداف المشروع المغربي الأوروبي:**

هذا المشروع يستجيب للأهداف التالية على وجه الخصوص[23]:

- تطوير التكنولوجيات ذات الكفاءة العالية لإنتاج الهيدروجين عن طريق الطاقة الشمسية. بحيث يمكن أن يتم إنتاج الهيدروجين تبعا للحالات انطلاقا من الماء أو المواد الهيدروكربونية، و كذا باستخدام وقود متجدد مستخلص من الكتلة الحيوية.
- تطوير تكنولوجيات نقل الهيدروجين عبر مسافات بعيدة: أنابيب نقل الغاز، النقل البحري و البري.
- تقييم ومقارنة و إقرار سلامة التكنولوجيات ذات الجودة العالية من منظور تطورها الصناعي في أبعادها و مستوياتها الكلية.
- إحصاء الفاعلين في مجالات البحث و التطوير و التصنيع، أصحاب القابلية للمساهمة في هذا التطوير.
- القيام بالدراسات التقنية والاقتصادية بغرض التحضير للإستراتجية الصناعية و التطويرية لفرع الهيدروجين الشمسي.

**3. عوامل نجاح المشروع المغربي الأوروبي للهيدروجين الشمسي:**

كلف مركز تطوير الطاقات المتجددة الجزائري سنة 2006 بتنسيق جهود بلدان المغرب العربي، في حين كلفت الشركة الأوربية لتكنولوجيات الهيدروجين بتنسيق الجهود بالنسبة للبلدان الواقعة على الضفة الشمالية للمتوسط، وخلص فريق البحث الجزائري إلى انه يمكن للمشروع أن يطلق عبر إنشاء محطة للطاقة الشمسية قرب مدينة غرداية القريبة من حقول غاز حاسي الرمل نظرا لكون الموقع يتوفر على جميع الشروط.

إن أهم شروط نجاح المشروع تتمثل فيما يلي: مكمن شمسي معتبر وكميات ضخمة من المياه قابلة للاستغلال وشبكة أنابيب نقل الغاز العابرة للمتوسط التي ينقل عبرها الهيدروجين، وكذا وجود تقنيات ناضجة وفعالة لإنتاجه.

**أ. المكمن الشمسي الضخم بالجزائر:**

حسب دراسة أجرتها وكالة الفضاء الألمانية بأن الجزائر تحوز على أضخم الإمكانيات الشمسية في كامل الحوض المتوسطي، حيث تتراوح قدراتها السنوية ب169 ألف تيراواط ساعة بالنسبة للطاقة الحرارية الشمسية، و14 تيراواط ساعة بالنسبة للطاقة الشمسية الفوتوفلطائية و35 تيراواط ساعة بالنسبة لطاقة الرياح، كما يقدر حجم الإمكانات الشمسية للجزائر بنحو 10 أمثال حجم مكامن الغاز الطبيعي التي اكتشفت في حاسي الرمل. من جهة أخرى، أشارت الدراسة إلى أن هناك فرصا جدية لا مجال للتشكيك فيها أمام بلدان شمال وجنوب المتوسط لرسم ملامح تعاون مثمر وفعال بينها، يسمح بفتح طرق الوصول إلى خزان عملاق للطاقة الشمسية التي تتوفر عليها

الصحراء الكبرى، وذلك باستخدام الهيدروجين الذي يتم إنتاجه بالطاقة الشمسية كحامل طاقة نظيفة ومؤمنة لضمان إمدادات الطاقة الإقليمية والعالمية[24].

**ب. الإمكانات المائية للجزائر:**

تحتوي الجزائر على عنصر أساسي آخر لإنتاج الهيدروجين وهو الماء، بحيث تحتوي الصحراء الشمالية على خزانين من المياه الجوفية يتواجدان في منطقتين مائيتين عملاقتين، تقع الأولى على الحدود الجزائرية التونسية والليبية وتعد من اكبر الطبقات في العالم، أما الثانية والمسماة بـــ"العرق الشرقي الكبير" فتقع وسط الصحراء الجزائرية، ويشكل هذان الخزانان "ورقة أساسية لإنتاج الهيدروجين على نطاق واسع ."

وفي سياق متصل، أظهرت دراسات علمية منذ 30 سنة أن استغلال الطبقات المائية للصحراء الشمالية الجزائرية وبفضل العمق القليل لسقف الخزان، سيمكن من تزويد محطات إنتاج الهيدروجين بطريقة فعالة ومنخفضة الكلفة[25].

**ج. خطوط الأنابيب:**

إن الموقع الجغرافي للجزائر سمح لها بان تلعب دورا فعالا في تزويد الاتحاد الأوروبي بالطاقة، حيث تعتبر الجزائر الممون الأساسي بالغاز لأوروبا في دول البحر المتوسط. و يوجد حاليا خطي أنابيب يربطان الصحراء بأوروبا مرورا بالبحر المتوسط بين تونس و ايطاليا للأول و المغرب و اسبانيا للثاني، يصل طول هذين الخطين إلى 7419 كم و بطاقة تقدر بـــ 101.32 مليار $م^3$ من الغاز الطبيعي، بالإضافة إلى خطين جديدين عابرين للقارات يربطان مباشرة الجزائر بأوروبا.

إن استخدام خطوط أنابيب نقل الغاز الطبيعي تشكل اليوم طريقا واعدا و أساسيا لنقل الهيدروجين مع إمكانية مزجه مع الغاز الطبيعي.

هذه الخطوط و التي تشكل حاليا في أوروبا أكثر من 1.4 مليون كم من أنابيب الغاز الطبيعي حيث أن 145000 كم من الأنابيب تخص أنابيب الضغط العالي من بين 900000 كم على المستوى العالمي. و من جهة أخرى فان أنابيب نقل الهيدروجين تشكل حاليا خطا بطول 2500 كم هذه الخطوط متمركزة خصوصا في أوروبا (1500كم) و في الولايات المتحدة (900 كم)[26].

**خـــــاتمة:**

إن الهيدروجين كطاقة نظيفة سوف يسمح بالتأكيد بتخفيض كبير للمشاكل المرتبطة بالتلوث ومن ثم حماية البيئة. وبذلك فان اقتصاد يعتمد على الهيدروجين و يستند إلى هيدروجين قابل للتجديد و غير ملوث هو هدف بيئي ذو جاذبية هائلة. فحسب الكثير من الخبراء فان الهيدروجين هو مصدر لطاقة المستقبل لأنه يمثل احد أشكال الطاقة الأقل إضرارا بالبيئة و يستعمل في الكثير من المجالات.

إن إنتاج الهيدروجين من مصادر متجددة و خصوصا من الطاقة الشمسية يفتح أفاقا واعدة في مجال حماية البيئة و تحقيق التنمية المستدامة، كون الطاقة الشمسية متوافرة يكفي فقط استثمارها بالشكل الأمثل.

إن دول العالم و من بينها الجزائر وجدت نفسها اليوم أمام احتياج حقيقي لتطوير قطاع الهيدروجين الشمسي، ليس فقط من جانب الوسائل المالية وإنما أيضا من جانب الكفاءة، المعرفة العميقة لكيفية التصرف وتحويل التكنولوجيا.

و في هذا الإطار سعت دول شمال و جنوب البحر المتوسط إلى تعزيز التعاون بينها من خلال إنشاء مشروع للهيدروجين الشمسي هو المشروع المغربي الأوروبي، هذا المشروع إذا ما تحقق سوف يعتبر بمثابة البداية الفعلية لعصر الهيدروجين عامة و الهيدروجين الشمسي خاصة، و هذا ما سيسمح للجزائر بأن تصبح من كبار المصدرين لهذه السلعة.

**قائمة الهوامش و المراجع:**


1. جيرمي ريفكن، ترجمة ماجد كنج، **اقتصاد الهيدروجين بعد نهاية النفط (الثورة الاقتصادية الجديدة)**، ط1، دار الفارابي، بيروت، لبنان، 2009، ص 295-296.
2. جيرمي ريفكن، مرجع سابق، ص 297.
3. ويكيبيديا، **اقتصاد الهيدروجين**، تم زيارة الموقع في 2011/09/10،

http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%82%D8%AA%D8%B5%D8%A7%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86

4. Chems Eddine CHITOUR, Lamia BENSARI , Sarah KHIRANI, **l'hydrogène comme vecteur énergétique**, les perspectives énergétiques à l'horizon 2020 dans un contexte de globalisation planétaire**,** 5eme Journée de l'énergie, école national polytechnique, 16 Avril 2001, p53-54.
5. جيرمي ريفكن، مرجع سابق ص 308.
6. رشيد بنشريفة، إدريس الزجلي وعبد العزيز بنونة، **الهيدروجين وخلايا الاحتراق– صيغة مستقبلية لإنتاج الطاقة الكهربائية بكفاءة عالية و توافق بيئي**، المؤتمر العربي العالمي لتطبيقات الطاقة الشمسية، طرابلس، ليبيا، 20-22 نوفمبر 2004، ص4.
7. جمعة رجب طنطيش، محمد أزهر سعيد السماك، **دراسة في جغرافية مصادر الطاقة**، منشورات ELGA ، 1999، مالطا، ص 261-262.
8. كينيث س. ديفيس، ترجمة صباح صديق الدملوجي، **ما بعد النفط منظورا إليه من ذروة هوبرت**، ط1، المنظمة العربية للترجمة، بيروت، لبنان، 2009، ص 265.
9. رشيد بنشريفة وآخرون، مرجع سابق ص7.
10. نفسه ، ص 6.
11. وداد أبو القاسم الأسطى، **الهيدروجين الشمسي وقود المستقبل**، مجلة الطاقة و الحياة، عدد 2، ليبيا، ديسمبر 1993، ص 86.
12. نفسه ص90
13. رفعت مثلا، **دور الهيدروجين الشمسي في حماية البيئة من التلوث مجالات واسعة لاستخدام الهيدروجين بشكل آمن ونظيف**، العروبة، يومية سياسية، حمص، سوريا، 2009/3/2.

http://ouruba.alwehda.gov.sy/_print_veiw.asp?FileName=186535004200903012244 12

14. وداد أبو القاسم الأسطى، **الهيدروجين الشمسي وقود المستقبل**، مرجع سابق، ص91.
15. رفعت مثلا، مرجع سابق.
16. Centre de Développement des Energies Renouvelables, **bulletin des énergies renouvelables**, N°9, juin 2006, Bouzaréah, Algérie, p27.

17. Chems Eddine CHITOUR, **les perspectives énergétiques à l'horizon 2020 dans un contexte de globalisation planétaire,** 5eme Journée de l'énergie, école national polytechnique, Algérie, 16 Avril 2001, P 78.

18. جبريل سليمان الجروشي، **الهيدروجين الشمسي: التعاون الأوروبي و الشمال إفريقي**، الطاقة و الحياة، عدد 20، سبتمبر 2004، ص 93.

19. نفسه ص94.

20. وداد أبو القاسم الأسطى، **الهيدروجين الشمسي وقود المستقبل**، مرجع سابق، ص 92.

21. Abdel-Nasser Cherigui, **Les énergies du futur en Algérie : l'hydrogène solaire**, vue le 12/09/2011, http://www.algerie-monde.com/actualite/article1214.html

22. Bouziane MAHMAH *et al*, **Projet Maghreb-Europe: Production d'Hydrogène Solaire Phase I : Etude d'Opportunité et de Faisabilité du Projet**, 20eme congrée mondiale sur l'énergie, Rome, 11-15 novembre 2007, p3.

**23**. مركز تطوير الطاقات المتجددة، **إعلان الجزائر حول الهيدروجين ذي المصدر المتجدد**، الورشة الدولية الأولى حول الهيدروجين: المتجه الطاقوي ذي المصدر المتجدد الجزائر، 21– 23 جوان 2005، ص 3، تم زيارة الموقع في 2011/09/21، http://www.cder.dz/A2H2/Medias/Download/DAHOR-ar.pdf

**24**. **باحثون جزائريون يقترحون إنشاء محطة لإنتاج "الهيدروجين الشمسي" بغرداية**، جريدة صوت الاحرار، تم زيارة الموقع في 2012/01/29، http://www.sawt-alahrar.net/online/modules.php?name=News&file=article&sid=4323

25. نفسه.

**26**. Bouziane MAHMAH et al, op cit, p 6-8