



Stockage de l'énergie via les gaz combustibles de synthèse dans les systèmes électriques

Georges Sapy(sapygeorges@gmail.com)

Ancien ingénieur d'EDF, membre du conseil scientifique de Sauvons Le Climat.

(JY FWYNHQJ UTWYJ XZW QJ XYTHPFLJ Ic SJWLNJ XTZX KTWRJ IJ L pour compenser la variabilité des productions intermittentes éoliennes et photovoltaïques IFSX QJX X^XY RJX QJHYWNVZJX (J RTIJ IJ XYTHPFLJ I XYTHPFLJ "power-to-gas-to-power" en anglais). Le stockage d'énergie pour d'autres applications, la mobilité notamment, n'est pas abordé ici.

.....

T\`•M f'f• Q M M f\` Gè(0 f\` Gè(M F R |(3 M -|è3•M idéalement présenter trois {"èJ3• fM ff R•3 JJ fN%M435M"RM| R Q R•M global élevé pour ne pas gaspiller JF R |(3 M & M 4335M "R M(|èR M èyè 3• M •M43335M"R MJ\R(" M "| M Mf\` Gè(\$M y compris intersaisonnière pour |y\R|M è"³M 3D |R•fM f\3Rf#Mt|\$M è" "RM f'f• Q M \RR"M úM MD\`|MR M répond simultanément à ces trois critères. Parmi les plus performants, J fMf\` Gè(fM/' |è"J3{" fMyè|M>¥-'fM (stations de transfert d'énergie par Installation de production d'hydrogène à partir de l'électricité produite par le parc pompage) et les batteries électro- Ic TQNJSSJX 8TYF[JSYT JS ,FQNHJ *XUFLSJ @ B chimiques répondent au premier è"³M "³M |R3 |fM |3• |fM Q 63f(My è ffM è "Mè (M è R f M f M (è ½ M critère (avec des rendements respec •3'fM MyJ"fM M à à NtM première Ce gaz sert à interdire actuellement leur usage et, à Qè3fM yèfM è"³M "³M è"•|QfM M M R -3JJ " |MQ\` R M y è f M è " M è R f M f M (è ½ M f Q R •\$M J M f\` Gè(M les "grandes quantités d'énergie élec f•MJ\3RM F •|M è {"3f #M Q J3\| |M de gaz de synthèse combustibles •|3{" M \J3 RR M •M y /rendement est donc un point clé de {" M QèR |\R•M J fM |leur à l'abnité pour l'avenir, et fait (hydrogène obtenu par électrolyse et futur. Le rendement global très faible JF\ D •M F"R M "€\$M 3R• R f M è R f M du CO2 par cet hydrogène) satisfait 4 R-3|\RM ß ÝM úM à Ý N t 5 M mo f d e . y | \ f f " f M M >>>

I 12NX 2NLZJU 'ZLFQOT 8FSHMJ_ 1RGZLF <NPNRJNF (TRRTSX ((&

>>>

Avantages du stockage de l'énergie électrique via de synthèse

1. Les gaz sont décarbonés si l'hydrogène est produit par électrolyse à partir d'électricité elle-même décarbonée, et si le méthane de synthèse est obtenu par méthanation du CO₂. Dans ces conditions, ils répondent donc à des critères de durabilité.
2. L'hydrogène et le méthane ont une densité énergétique élevée et peuvent être stockés à très grande échelle et longue durée, y compris intersaisonnière, ce qui permet notamment de stocker l'énergie produite en été pour l'utiliser en hiver lorsque la production photovoltaïque est plus faible que les besoins en électricité. Ou inversement, de produire de l'électricité à partir de gaz pendant les périodes de forte demande (été) et de stocker l'énergie produite pendant les périodes de faible demande (hiver).

densités énergétiques très élevées de ces gaz combustibles (voir plus loin) et le fait que leurs chaînes de production peuvent atteindre des rendements élevés.

Malheureusement, de tels rendements sont globalement très faibles en raison de la faible densité énergétique des gaz et de la nécessité de compressions et de méthanations. Les rendements globaux de conversion sont donc très faibles, ce qui rend difficile la mise en œuvre de tels systèmes à grande échelle. Cependant, les progrès attendus de la technologie de stockage et de conversion pourraient améliorer ces rendements.

énergétiques et économiques, sont évoqués dans la suite de cet article.

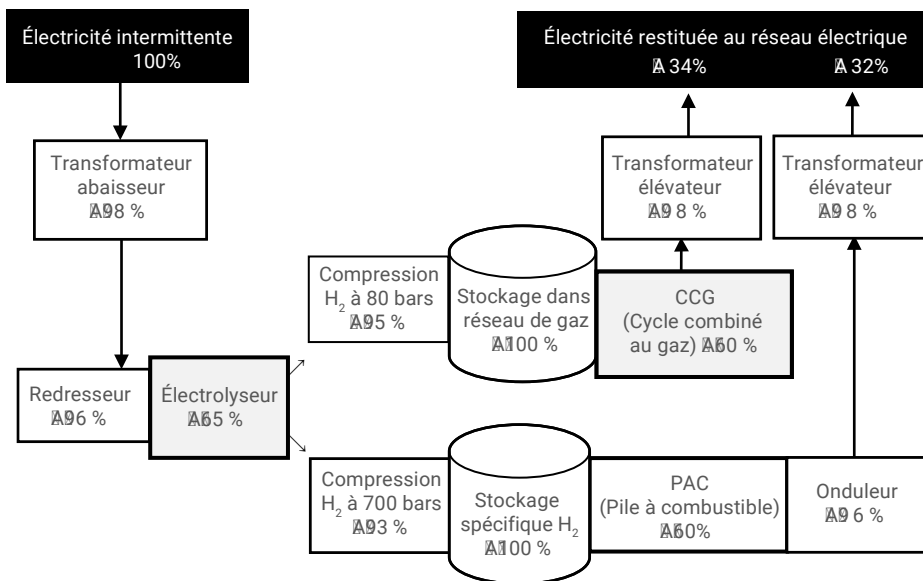
rendement global avec les rendements unitaires actuels. Les résultats énergétiques de ces systèmes sont donc très faibles, ce qui rend difficile la mise en œuvre de tels systèmes à grande échelle.

soit à l'état pur dans une pile à combustible, soit mélangé au méthane dans une machine thermo-dynamique (cycle combiné au gaz, CCG en abrégé) entraînant un alternateur qui débite directement sur le réseau.

Les résultats énergétiques de ces systèmes sont donc très faibles, ce qui rend difficile la mise en œuvre de tels systèmes à grande échelle.

électrolyseurs ne fonctionnant pas en permanence à leur rendement optimal, d'autant plus qu'ils seront alimentés par de l'électricité intermittente. Ceci conduit à la conclusion suivante : produire 1 kWh d'électricité par stockage d'hydrogène implique d'avoir consommé plus de 3 kWh.

Ceci conduit à la conclusion suivante : produire 1 kWh d'électricité par stockage d'hydrogène implique d'avoir consommé plus de 3 kWh.



1. Schéma de principe du stockage-déstockage par la voie hydrogène.



rendement global avec les rendements unitaires actuels

Le début de la chaîne de conversion est strictement identique à celui de d'hydrogène (supposé comprimé à la même pression, selon la réaction classique

la chaîne globale de conversion, avec aussi dépenser une énergie électrique obtenue ici à partir de fumées de combustion d'énergies fossiles, ce qui est une hypothèse énergétique du CO₂ atmosphérique qui consomme le comprimer ensuite à 80 bars.

Toutes ces transformations supplémentaires induisent de nouvelles pertes énergétiques qui diminuent encore le rendement global, comme l'application des rendements unitaires des transformations conduit à un rendement global en régime stable de

conditions réelles opérationnelles. 1 kWh d'électricité par déstockage de méthane de synthèse implique d'avoir consommé 5 kWh.

moins performante énergétiquement que la voie chimique. Elle est beaucoup plus facile à mettre en œuvre.

Des progrès en R&D, mais des procédés pas encore industrialisés...

Les procédés d'électrolyse suscitent de nombreuses recherches dans le monde. On obtient des rendements élevés, mais ils s'accroissent mal des variations de charge...

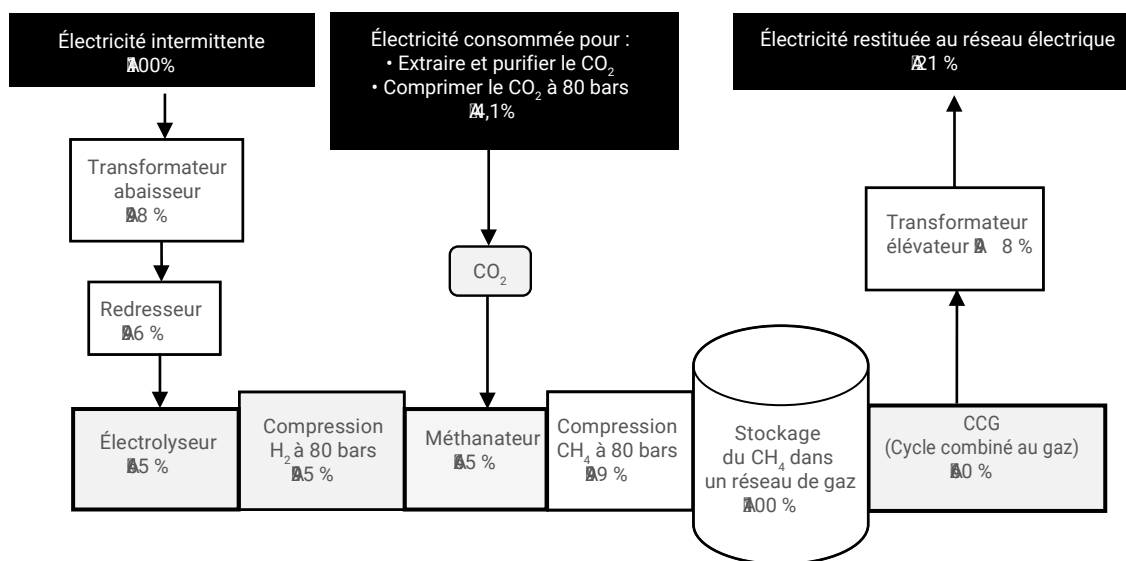
De plus, le stockage de l'énergie doit être couplé thermiquement à la réaction fortement exothermique.

pour porter à haute température la vapeur d'eau de l'électrolyseur, ce qui permet d'augmenter le rendement. Les rendements globaux sont en cours d'essai actuelles. Les rendements unitaires industriels pour réellement étalonner les paramètres technico-économiques de ces conversions.

de sur la viabilité future de ces chaînes de conversion en simulant leurs rendements globaux. Les rendements unitaires de ces procédés sont très élevés, mais ils s'accroissent mal des variations de charge...

pour les équipements très matures (électrolyseurs, méthanateurs, piles à combustible). On obtient des rendements élevés, mais ils s'accroissent mal des variations de charge...

>>>



2. Schéma de principe du stockage-déstockage par la voie méthane.

>>>

à N t M 4 à N t M è • “ J J Q \ R • M B \ R R f Q I R • M ú M y J 3 R M M y a r g e s è r m o n t e n e n t s o n t p l u s Q 3 J J “ | M f M è f 5 M & M e n m o y e n n e a n n u e l l e g é o g r a p h i q u e f a i b l e s q u e d a n s l e c a s p r é c é d e n t , • l e s r e n d e m e n t s d e s a p p a r e i l l a g e s Q • | \ y \ J 3 • è 3 R \$ M B B M ú M B à m a i s y è l e m o d e n e s t p a s m u t u e l e d e t r a n s f o r m a t i o n p u r e m e n t é l e c t r i q u e s (t r a n s f o r m a t e u r s , r e d r e s - \ J • è : { “ M 4 p à n t m è “ M f “ M f o i s p l u s d a n s l e s v o i e s h y d r o g è n e f “ | f \$ M \ R “ J “ | f 5 M f \ R Q M B R J M M p f M t M è “ M R \ | 5 e t m é t h a n e , r e s p e c t i v e m e n t) q u ' i l é l e v é s , e t i l n ' y a p l u s g r a n d - c h o s e à \$ è R f M J è M y | f y • 3 - M F “ s e n t p o s s i b l e d ' e n r e v e n d r e . (è (R | M & M J “ | f M | R Q m e n t t r è s i m p o r t a n t d e c e s s o u r c e s s e r o n t d o n c c o n s e r v é s .

Sur ces bases, il est alors possible de “ 3 M ' è \ R f M F “ • 3 J 3 f | m o d è s s u r d e s i n v e s t i s s e m e n t s r é a - | è J “ J | M f M | R Q R • f “ M (J J f “ M y \ | “ 3 f R • N ú M J 3 f f • M f M R f M J F | M M p Y Y M . Q è 3 3 Q “ Q f \$ M { “ 3 M f \ R • M | f f “ Q G e M \$ e n R f M è R • M R y “ M M “ / “ M “ R M M f M y | 3 R 3 y è “ 3 M le tableau 1 . b e s o i n s i m m é d i a t s d o i v e n t d a n s s a n t s d e s c h a i n e s d e c o n v e r s i o n

- R M | f “ Q \$ M è R f M “ R o m b l e s r e a s e t e t d e p r i o r i t a i r e m e n t (é l e c t r o l y s e u r s , m é t h a n a t e u r s , p i l e s à i n d u s t r i e l d a n s l e q u e l l e s r e n d e m e n t s s a t i s f a i t s . é l e c t r o l y s e u r s , m é t h a n a t e u r s , p i l e s à u n i t a i r e s d e s p r i n c i p a l e s c o n v e r s i o n s s u p p o s é s a m o r t i s e n 2 0 à 2 5 a n s a v e c é n e r g é t i q u e s (c e l l e s q u i i m p l i q u e n t s u p p o s é s a m o r t i s e n 2 0 à 2 5 a n s a v e c d e c h a n g e m e n t s d e f o r m e d ' é n e r g i e) q u i n e t r o u v e n t p a s d e d é b o u c h é s M à M ú M à n t \$ M \ R “ 3 f R • M ú M R M y è f f R • M y è f M æ Y N t M i a s t a m a r i e s m a r i e s m c o n s o m m a - J F J • | 3 3 • M f • \ G M y è “ \ “ y 5 \$ M 3 J M f Q J M • | f “ \ R M 3 “ M J è M f M J F 3 y \ | • è 3 • B R M t R M D y “ f { M f ú M à Y Y M S o i A ' è 3 | M Q 3 “ 3 M { “ M \ “ J | M g r o s s e m o d e e s t i m e r q u e c e s s u r - \ 3 M / ' \ (R M • M D “ f { “ F ú M à Y m e n t s o p é r a t i o n n e l s a c t u e l s d e s g r o s s e m o d e

Les rendements globaux de ces chaînes de conversion resteront donc intrinsèquement limités. La raison de fond est le trop grand nombre de conversions énergétiques nécessaires, surtout pour la voie CH₄. plus pourraient être disponibles pour la voie méthanation, selon les y R è R • M R - 3 | \ R M p Y N t M R “ 3 • 8 \ R y f M M M y \ | “ • 3 \ R # M \ \ J \ 3 M æ M Y N M “ | f M y è | M è R # M \$ 3 R M M f M y è | B \$ M Q ' R f M J F J • | 3 3 • M 3 M B é l e c t r i c i t é s u b l e s m a r c h é s e n 2 0 1 9 . M J M f • M ' è 3 J M M \ Q y | R | M m o d è l e é c o n o m i q u e n ' e s t a c t u e l l e m e n t v i a b l e d a n s c e s c o n d i t i o n s .

Quand les rendements limités et les faibles facteurs de charge combinent leurs effets économiques négatifs...

Leurs rendements limités ne sont pas le seul point faible de ces modes M f • \ G è (# M a M ' è 3 • M par de l'électricité intermittente (ce { “ 3 M f • M J “ | M Ñ R è J 3 • M h a n d i c a p e é g a l e m e n t é n o r m é m e n t , c a r c e s s o u r c e s d ' é l e c t r i c i t é o n t d e ' è 3 J f M G N ' è • “ | f M M y à | (M N B y 4 | M J f M Q è 3 3 Q “ e t p é r i o d e s d e f o r t e d e m a n d e , a v e c ú < 3 | M G N M • Q y f M { è e i n t e r m i t t e n t e p r o d u i t e . L e s “ 3 M 3 R • | \ (è 3 \ R f N % M f | è < < Qu'en serait-il avec des rendements è Q J 3 \ | f \$ M { “ 3 M y \ | | è 3 R • M è t t e d o u b l e s e t c o n s o m m e i n d i q u é p l u s J f M Q \ ' R f M 3 3 f • è R • f M e R F N M M “ D f 3 f à R • f M f | è 3 R • M Q y è f # M \$ è R f M • • M / ' y \ / Q \$ R M M M B è 3 f “ f M y è | M “ 3 \$ M M / è | (M Q è 3 3 Q “ Q M f a n g e r a i t c e s p o s i t i v e m e n t à m o i n s M f • \ G è (M R M y “ • M è J \ M f M à Y Y M f • M | B à Y Y M S o i A / # M : J è M f \ Q Q M f M G N ' è • “ | f M | M f f e B B e R M M y \ “ | M | R | M d e s m o y e n s m i s e n œ u v r e , s o i t “ R M Q \ J M \ R \ Q 3 “ # # # M M J I B B N \ M p à M ` M à à n t \$ M e n j o u r n é d r i s e r l e s b o u t s d ' i n v e s t i s s e - à Y Y Y N / “ | f M y è | M è R M è M e t c e s c o n d i t i o n s d e c o n v e r s i o n p a r \$ è R f M M è f \$ M J F J • | 3 “ 3 M 4 \ 3 M / M p \ (M R 5 M \ “ M • | 3 J M f J \ G è (J M Q \ R • M | M | M y è ' m é t h a n a t i o n) p o u r u n p a s d e l e s c o u t s d e M - R • M R \ | Q è J # M \$ M y B “ J \$ M | 3 Q Q M f • \ G M - 3 y | p r o d u c t i o n i n t e r m i t t e n t e v a r i e - R è J f M J \ | f { “ M J f M y | 3 3 M f o r t e m e n t , i l e s t n é c e s s a i r e d e s u r a t t e i n t o u d é p a s s e n t u n e c e n t a i n e d ' e u r o s p a r M W h . C e c i s e p r o d u i t l o r s d e s p é r i o d e s d e f o r t e d e m a n d e , a v e c d e s p é r i o d e s d e f o r t e d e m a n d e , a v e c “ 3 M 3 R • | \ (è 3 \ R f N % M f | è < <

Filière	Rendement électrolyseur	Rendement PAC	Rendement méthanateur	Rendement CCG	Rendement global à régime constant optimal	Rendement global opérationnel (à régime variable)
H ₂ + PAC	65 ↗ à	60 ↗ à	-	-	↗ A à	28 ↗ A
H ₂ + CCG	65 ↗ à	-	-	60 ↗ à	↗ A à	↗ A
CH ₄ + CCG	65 ↗ à	-	65 ↗ à	60 ↗ à	21 ↗ A à	19 ↗ A

Tableau 1. 7 J S I J R J S Y X F H Y Z J Q X J Y J X U W X I J X K N Q N W J X M ^ I W T L S J U N Q J X H T R G Z X Y ((, J Y R Y M F S J H ^ H Q J H T R G N S F Z L F _



de réduire les couts d'investissement dans de telles proportions ? Et y aura-t-il assez d'heures dans l'année durant J f{" JJ f M J f M y | 3^3 M f " D 3 f è Q Q R • M J - f M y \ " | M y Q è f f | M f M M J M | f è " J F J • | 3 3 • M f • \ G N * M R | M J F è R M è D " " J R M 4 B à M Q " R • M 5 - M è | J f M M J M Q \ Q R • M - R " N * M

* Y U T Z W Y F S Y X J Z Q
le stockage d'électricité
via I J X L F _ H T R G Z X Y N G O J X
est apte à répondre
aux besoins de masse
intersaisonniers...

Ce fait résulte des lois de la physique et de la chimie, plus précisément des R f 3 • f M R | (• 3 {" f M f M R 3 D | | R R M f S M N t M f M | R è • " | J M f • \ G M • \ " f M M e l a c a v i t é s s o u t e r r a i n e s d u p a y s . C e J a z p o u r r a t t r e D r e m p l a c é p a r d u m é t h a n e d e s y n t h è s e d a n s l a m ê m e p r o p o r t i o n . E n r é a l i t é , i l f a u d r a i t f • \ G | M J F {" 3 - è J R • M d e r i e p a s e n v o y é d a n s l ' a t m o s p h è r e . 3 1 2 è 3 R M M D \ " | f M è " M Q M B r f / R \ \ (3 M f M M è y • è (M 3 3 f • R • t | \$ M 3 J M 3 3 f • M M • | f M è y è R 3 f M M è f | M f M \ G è (f M # N " a à 5 \$ M R Q f è 3 f M J J f M \ R f \ Q Q R • M

- Énergie potentielle hydraulique (eau f M è | | è (f 5 \$ M è G u c h u l t e N Q de 700 m entraînant une turbine / ' | è " J 3 {" M • M " R M è J è y R è " u M % • M G | M M J g N P \$ à N G Æ / M &
- Énergie potentielle pneumatique 4 è 3 | M \ Q y | 3 Q M f • \ G M a t i o n d ' é l e c t r i c i t é d u p a y s p e n d a n t " R M 3 1 2 è 3 R M M D \ " | R sont les gaz combustibles de synthèse. La solution parfois évoquée d'aller D M f g (M f S M M G M E \ Q & " M • 3 J f u e n e m p o s s i b l e , a u g m e n t e r a i t l e n o m b r e d e t r a n s f o r m a t i o n s p h y s i q u e s M o n t C é g a l e r a i t é t a d e e n u n p e u p l u s l e r e n d e m e n t .
- Énergie potentielle chimique du gaz \ Q " f • 3 J M / ' | \ (R \$ M f u e n e m p o s s i b l e , a u g m e n t e r a i t l e n o m b r e d e t r a n s f o r m a t i o n s p h y s i q u e s M o n t C é g a l e r a i t é t a d e e n u n p e u p l u s l e r e n d e m e n t .
- Énergie potentielle chimique du (è 1 2 M \ Q " f • 3 J M Q • / è R q u i i m p l i q u e u n p a s s a g e d e s i n v e s t i s - M Q • / è R M \ Q y | 3 Q M f M Q à R n f M | y M f f è " 3 \$ M \ " / M f " | M " R M | " J M è R f M " R M ' J M B Q \ Q è 3 J R N N % M M F è f R M M Q \ J M " \ R - Q 3 {" M - 3 è J M y \ " | M M • y M M M f • \ G è (\$ M

On voit donc qu'à même volume, les gaz combustibles (hydrogène et méthane) stockent, en ordre de grandeur, 70 à 230 fois plus d'énergie

potentielle que l'eau des barrages ou l'air comprimé en cavités souterraines.

\$ \ R R \ R f M {" J {" f M / 3 M 3 Q è | f / | M | M J F R Q y J " | M " M M y Q è f f | M f M M J M | f è " M R | M J F è R M è D " " J R M 4 B à M Q " R • M 5 - M è | J f M M J M Q \ Q R • M - R " N * M

froide d'hiver, la consommation en électricité du pays atteint couram- MQ R • M P \$ à M ú M B M ¥ Æ / N & M è M • \ • è J 3 • M f M f 3 3 M y | - 3 f M • | è R M è 3 f f \$ M 3 J M ' è " | è M \ R • 3 R " p o u r t a n t d e g r a n d e s t a i l l e s , n e p e u t f • \ G | M {" # # # M Y \$ P M ¥ Æ / N R (M 3 M J M I ' è M | è G • M \$ M y | Q • • è R • M d o n c e n c o n s t r u i r e 1 7 à 2 0 f o i s p l u s p o u r a l i m e n t e r l e p a y s e n é l e c t r i c i t é y R è R • M " R M f " J M D \ " | R " # # # R I • M 3 M " M f \ J 3 J # M t | \$ M 3 J M R {" M " 3 M f \ " | f M F R | (3 M M f • \ G M e s t h o r s d e t o u t e r é a l i t é , p u i s q u e l e p o t e n t i e l d e c r o i s s a n c e r é a l i s t e e s t M J F \ | | M F " R M ' è • " | M è p a d r o à M a m \$ S U M S e d b e s o i n s - è | 3 è J f M {" 3 M f M y | f R • \ | R • N % M n u c l é a i r e , d o n t l a p r o d u c t i o n n ' é m e t p a s d e C O 2 e t l e g a z n a t u r e l , l e m o i n s é m e t t e u n e s m o n t e b s o i n s f o s s i l e s , q u i é m e t c e p e n d a n t d a n s l e m e i l l e u r d e s c a s e n v i r o n 4 4 0 g d e C O 2 y è | M G Æ / M d ' é l e c t r i c i t é p r o d u i t e . M a i s i l f a u d r a i t a l o r s c a p t e r e t s é q u e s t r e r c e C O 2 è Ñ R M d e r i e p a s e n v o y é d a n s l ' a t m o s p h è r e . M Q M B r f / R \ \ (3 M f M M è y • è (M 3 3 f • R • 3 • V 3 B A N R M | • 3 M J J M M A # N \$ J y | è < | è R f M # N " a à 5 \$ M R Q f è 3 f M J J f M \ R f \ Q Q R • M c o u p d ' é n e r g i e e t l a s é q u e s t r a t i o n f \ " J - M f M y | \ J Q è 3 {" f M 3 D 3 3 J f \$ ' M \ Q y | 3 f M M f " | 3 • # M - R Ñ R \$ M J F " f d u g a z n a t u r e l s ' a c c o m p a g n e d e f u i t e s d e m é t h a n e (c ' e n e s t l e c o m p o s a n t p r i n c i p a l) , u n g a z q u i a u n p o u v o i r | / è " D è R • M à Y M ' 3 f M f 2 " y | 3 " | M è " M t ú M B Y M è R f # M \$ F " R M y \ 3 R • M M - " M R i q u e e t é c o n o m i q u e l a s o l u t i o n e s t n e t t e m e n t m o i n s p e r f o r m a n t e q u e l e n u c l é a i r e . L a S t r a t é g i e n a t i o n a l e b a s c a r b o n e (S N B C) f r a n ç a i s e n ' a p a s r é v e n u l l e c a p t a g e e t l a s é q u e s t r a t i o n d u c a r b o n e c o m m e s o l u t i o n p o s s i b l e .

Conclusion

Les seules formes énergétiques è y R è " u M % • M G | M M J très grande échelle requise pour satisfaire chaque hiver la consommation d'électricité du pays pendant " R M 3 1 2 è 3 R M M D \ " | R sont les gaz combustibles de synthèse. La solution parfois évoquée d'aller D M f g (M f S M M G M E \ Q & " M • 3 J f u e n e m p o s s i b l e , a u g m e n t e r a i t l e n o m b r e d e t r a n s f o r m a t i o n s p h y s i q u e s M o n t C é g a l e r a i t é t a d e e n u n p e u p l u s l e r e n d e m e n t .

Cependant, cette réponse physique, qui implique un passage des investis- f M Q à R n f M | y M f f è " 3 \$ M \ " / M f " | M " R M M Q \ J M " \ R - Q 3 {" M - 3 è J M y \ " | M M • y M M M f • \ G è (\$ M en l'état des technologies et perspec • 3 - f M è • " J J f # M t | \$ M masse et intersaisonniers deviendront indispensables pour assurer la sécurité d'alimentation en électricité,

avec le développement massif des f \ " | f M \ J 3 R R f M • M y / \ • \ - \ J • è : {" f M

du début de 2015 en France et sans doute avant dans d'autres pays. Que M è R e s f n l s o n t p a s é c o n o m i - à M Q " R • M 5 - M è | J f M M J M Q \ Q R • M - R " N * M

Sauf à mettre le pays (et l'Europe) dans le noir ou soumettre les consommateurs d'électricité à des recours à une part importante f • \ G | M {" # # # M Y \$ P M ¥ Æ / N R (M 3 M J M I ' è M | è G • M \$ M y | Q • • è R • M produire de l'électricité quand on en a besoin et pas seulement quand il y è | R " # # # R I • M 3 M " M f \ J 3 J # M t | \$ M 3 J M R {" M " 3 M f \ " | f M F R | (3 M M f • \ G M qui ont la capacité physique de M è p a d r o à M a m \$ S U M S e d b e s o i n s - è | 3 è J f M {" 3 M f M y | f R • \ | R • N % M n u c l é a i r e , d o n t l a p r o d u c t i o n n ' é m e t p a s d e C O 2 e t l e g a z n a t u r e l , l e m o i n s é m e t t e u n e s m o n t e b s o i n s f o s s i l e s , q u i é m e t c e p e n d a n t d a n s l e m e i l l e u r d e s c a s e n v i r o n 4 4 0 g d e C O 2 y è | M G Æ / M d ' é l e c t r i c i t é p r o d u i t e . M a i s i l f a u d r a i t a l o r s c a p t e r e t s é q u e s t r e r c e C O 2 è Ñ R M d e r i e p a s e n v o y é d a n s l ' a t m o s p h è r e . M Q M B r f / R \ \ (3 M f M M è y • è (M 3 3 f • R • 3 • V 3 B A N R M | • 3 M J J M M A # N \$ J y | è < | è R f M # N " a à 5 \$ M R Q f è 3 f M J J f M \ R f \ Q Q R • M c o u p d ' é n e r g i e e t l a s é q u e s t r a t i o n f \ " J - M f M y | \ J Q è 3 {" f M 3 D 3 3 J f \$ ' M \ Q y | 3 f M M f " | 3 • # M - R Ñ R \$ M J F " f d u g a z n a t u r e l s ' a c c o m p a g n e d e f u i t e s d e m é t h a n e (c ' e n e s t l e c o m p o s a n t p r i n c i p a l) , u n g a z q u i a u n p o u v o i r | / è " D è R • M à Y M ' 3 f M f 2 " y | 3 " | M è " M t ú M B Y M è R f # M \$ F " R M y \ 3 R • M M - " M R i q u e e t é c o n o m i q u e l a s o l u t i o n e s t n e t t e m e n t m o i n s p e r f o r m a n t e q u e l e n u c l é a i r e . L a S t r a t é g i e n a t i o n a l e b a s c a r b o n e (S N B C) f r a n ç a i s e n ' a p a s r é v e n u l l e c a p t a g e e t l a s é q u e s t r a t i o n d u c a r b o n e c o m m e s o l u t i o n p o s s i b l e .

du gaz naturel s'accompagne de fuites de méthane (c'en est le composant principal), un gaz qui a un pouvoir | / è " D è R • M à Y M ' 3 f M f 2 " y | 3 " | M è " M t ú M B Y M è R f # M \$ F " R M y \ 3 R • M M - " M R i q u e e t é c o n o m i q u e l a s o l u t i o n e s t n e t t e m e n t m o i n s p e r f o r m a n t e q u e l e n u c l é a i r e . L a S t r a t é g i e n a t i o n a l e b a s c a r b o n e (S N B C) f r a n ç a i s e n ' a p a s r é v e n u l l e c a p t a g e e t l a s é q u e s t r a t i o n d u c a r b o n e c o m m e s o l u t i o n p o s s i b l e .

En l'absence de volume de stockage de masse intersaisonnier économiquement soutenable, il faudra donc choisir entre le nucléaire et le réchauffement climatique... ■

1: M. Rev Porto et al., "H₂ production in Solavento wind farm", Proceedings of the 18th World Hydrogen Energy Conference 2010 (Essen). . 8 ' 3

Un vecteur énergétique dans l'air du temps : l'hydrogène

principales applications, soit dans le domaine de la production de chaleur, soit dans les transports.

production d'hydrogène décarboné pour les usages industriels actuels non énergétiques de l'hydro- (3) faciliter l'intégration des renouvelables

Produire tout cet hydrogène, destiné à des usages énergétiques de façon décarbonée, par électrolyse de l'eau est privilégiée, mais il s'agit d'un procédé dont le coût énergétique est environ sept fois plus élevé que celui du vaporeformage du méthane, actuel-

de production dépend non seulement de celui de l'électricité bas carbone utilisée, mais aussi du coût des électrolyseurs et de leur maintenance.

• G. Bonhomme, 2023
 • G. Bonhomme, 2023

	France	Union européenne	Monde
Usages industriels non énergétiques actuels	2025	2025	2025
Objectifs de production	2025	2025	
• Usages énergétiques (mobilités lourdes, réseaux)	2025	2025	
Besoins induits en électrolyse.	2025	2025	
Objectifs 2050 et besoins en électricité, capacité d'électrolyse	2050	2050	2050 (cf. scénario NZE de l'IEA)
Usage dans la gestion de l'intermittence des EnR	2025		

Tableau 1. Objectifs de production et d'utilisation de l'hydrogène en France, dans l'Union européenne et dans le monde.

d'hydrogène produit par vaporeformage du gaz naturel se situe entre 10 et 20 €/MWh. Pour pouvoir devenir économiquement compétitive, cette production d'hydrogène bas carbone par électrolyse doit être la suivante (a) :

- les électrolyseurs doivent fonctionner le plus longtemps possible à pleine charge toute l'année, pour limiter le surdimensionnement
- les électrolyseurs doivent assurer pour l'industrie une production constante
- le système électrique doit être en mesure de délivrer l'énorme quantité d'électricité nécessaire.