Réponse à la consultation européenne

Directive énergies renouvelables

Date d'émission : novembre 2021

Résumé

Le CEA se félicite du renforcement des objectifs de déploiement des énergies renouvelables en Europe, même s'il regrette que ces objectifs ne visent pas l'ensemble des énergies bas carbone. Un point de vigilance cependant : bien que nécessaire, le développement des énergies renouvelables ne suffit pas intrinsèquement à faire régresser la consommation de combustibles fossiles, notamment si la consommation d'énergie augmente ou que les énergies renouvelables se substituent à d'autres énergies bas carbone telle que l'énergie nucléaire (ce qui est le cas dans certains États). Atteindre la neutralité carbone impose avant tout de réduire la consommation de combustibles fossiles.

Si le CEA soutient la définition d'objectifs différenciés entre carburants renouvelables d'origine non biologique (RFNBO) et biocarburants, il regrette que les RFNBO n'incluent que ceux dont le processus de production repose sur des énergies renouvelables et pas sur les énergies bas-carbone en général. Cela pénalise les politiques climatiques de l'Union.

Le système de garantie d'origine (GO) de l'électricité est de plus en plus utilisé pour tracer l'électricité, ce qu'il n'a pas été conçu pour assurer. Afin qu'il puisse remplir correctement cette mission, ce système doit être amélioré dans le cadre de la révision de la directive sur les énergies renouvelables.

- **La durée de vie des GO doit être au plus tôt réduite à un mois** (contre un an actuellement) pour commencer à prendre en compte les difficultés de stockage de l'électricité et susciter des investissements en ce sens.

- **La Commission devrait définir explicitement un calendrier de réduction progressive de la durée de validité des GO jusqu'à 1 heure**. Cette évolution est indispensable pour susciter des investissements dans la flexibilité (pilotage de la demande, production pilotable d'électricité et stockage).

- **Les échanges de garantie d'origine entre les Etats doivent être limités en volume aux réservations des capacités d'interconnexion entre les États.** Cette évolution permettra de revaloriser les GO à la hausse en évitant la saturation du marché, sans lien avec la réalité des échanges physiques d'électricité.

- **Le système des garanties d'origine doit être ouvert à <u>toutes</u> les énergies et l'émission de garanties d'origine ainsi que leur transfert jusqu'au consommateur final doit devenir obligatoire**. Cela améliorerait la transparence pour le consommateur, et lui permettrait de choisir quelles énergies il souhaite soutenir (objectif premier du système de garantie d'origine). Enfin cela permettrait de flécher de l'électricité bas carbone vers des électrolyseurs pour produire de l'hydrogène bas carbone.

- **Les garanties d'origine doivent inclure l'information des émissions de CO2 de l'électricité garantie**, là encore dans un souci de transparence vis-à-vis du consommateur.

Le CEA se félicite de la réouverture par la Commission de la directive sur les énergies renouvelables. Outre la mise à jour de cette directive afin de la mettre en cohérence avec les nouveaux objectifs climatiques de l'Union, une modernisation de ce texte est nécessaire. Si cette modernisation est

relativement complète (quoique certains points puissent être discutés) en ce qui concerne la prise en compte de nouvelles technologies telles que l'hydrogène, d'autres points essentiels n'ont pas été corrigés, au premier rang desquels la correction du mécanisme de garantie d'origine de l'électricité. Aujourd'hui dysfonctionnel, celui-ci permet d'étiqueter n'importe quelle électricité comme renouvelable, sans fournir la moindre incitation au développement des flexibilités (côté offre, demande et stockage) devant nécessairement accompagner le déploiement des énergies renouvelables.

1. Les énergies renouvelables doivent prioritairement permettre de remplacer les combustibles fossiles

Le CEA se félicite du renforcement des objectifs de déploiement des énergies renouvelables en Europe, même s'il regrette que ces objectifs ne visent pas l'ensemble des énergies bas carbone.

Rehausser l'objectif de part en pourcentage d'énergies renouvelables dans le bouquet énergétique européen ne suffit cependant pas intrinsèquement à assurer l'atteinte des objectifs climatiques de l'Union. En effet, pour atteindre 55% de réduction des émissions de gaz à effet de serre en 2030 par rapport à 1990, l'Union européenne va devoir fortement réduire sa consommation de combustibles fossiles (*a minima* celle non équipée de mécanismes de capture et stockage de carbone). Or, il est tout à fait possible d'imaginer une stagnation ou une diminution trop lente de la consommation absolue d'énergies fossiles tout en assistant à une hausse de la part des énergies renouvelables, si la consommation d'énergie devait augmenter et/ou si les énergies renouvelables se substituer à d'autres énergies bas carbone comme du nucléaire (comme c'est le cas dans un certain nombre de pays membres) plutôt qu'à des énergies fossiles.

Il convient donc de s'assurer que le développement des énergies renouvelables (et des énergies bas carbone en général) vient bien se substituer à une consommation de combustibles fossiles.

2. Carburants liquides et gazeux

Il convient d'être extrêmement prudent dans l'encouragement à l'usage des biocarburants, dont les impacts pour le climat et l'environnement dépendent fortement de l'origine et peuvent être particulièrement élevés : incitation à la déforestation (locale et importée), compétition avec les cultures alimentaires, compétition d'usage avec l'élevage ou d'autres secteurs de la bio-économie, contribution à l'artificialisation des sols, relargage rapide dans l'atmosphère de carbone qui sera au mieux restocké sur plusieurs décennies dans le cas de la biomasse forestière (biocarburants de seconde génération), etc.[i]

Ainsi, l'usage des biocarburants ne doit être encouragé que lorsque des critères solides et vérifiables encadrent leur production. À ce titre, l'importation d'huiles végétales destinées à réaliser des biocarburants ne doit pas être un moyen de délocaliser et masquer ces impacts.

Le CEA se félicite d'objectifs différenciés pour les biocarburants et carburants renouvelables d'origine non biologique. En effet, ces derniers seront probablement plus coûteux, au moins dans un premier temps, et un soutien de ce type est nécessaire pour permettre à ces filières de se développer et de réduire leurs coûts. Face aux alertes de différents organismes de recherche et associations quant aux limites de la ressource biomasse européenne pour répondre aux besoins cumulés des États membres

en bioénergies (dont biocarburants) et objectifs de neutralité carbone, ces carburants renouvelables d'origine non biologique pourraient jouer un rôle majeur complémentaire et alternatif tout en réduisant la pression que subira la ressource biomasse.

La Commission propose un objectif de 2,6% en 2030 (article 25) de part de RFNBO dans le secteur des transports en 2030. **L'ajout d'un objectif intermédiaire à horizon 2025 serait souhaitable.**

Le CEA regrette que les carburants de synthèse d'origine non biologique se limitent aux seuls carburants « renouvelables » (notamment à l'article 25). La Commission précise dans le projet de directive révisée que ce choix s'explique notamment par le potentiel plus élevé des carburants renouvelables. Il s'agit d'une opinion (et non d'un fait avéré) que le CEA ne partage pas nécessairement :

- toutes les énergies bas carbone seront nécessaires à l'Union pour atteindre ses objectifs climatiques, comme l'a clairement rappelé le Commissaire Thierry Breton le 31 août, ainsi que le gestionnaire du réseau électrique français, RTE, dans ses Futurs énergétiques 2050 publiés en octobre 2021 ;
- en limitant les carburants de synthèse aux seules énergies renouvelables, la production devra suivre le facteur de charge des éoliennes et panneaux photovoltaïques, ce qui conduira à une utilisation sous-optimale des électrolyseurs destinés à la production d'hydrogène, donc à des surcoûts (pour un vecteur énergétique déjà cher) et à une production réduite en regard de la puissance d'électrolyse installée ;
- les volumes de carburants de synthèse demandés par les secteurs aéronautiques et maritimes seront tels que les capacités renouvelables seules pourront difficilement répondre au besoin énergétique exigé pour la production de ces carburants. Considérant que la notion d'additionnalité implique de surcroît un déploiement de capacités renouvelables dédiées à la production de RFNBO, le temps de mise en œuvre des capacités renouvelables pourrait ne pas suivre la demande de RFNBO des secteurs concernés imposés par leurs obligations de décarbonation respectives ;
- les carburants de synthèse peuvent jouer un double rôle dans l'atteinte des objectifs de neutralité carbone à condition que leur déploiement soit rapide : (i) en contribuant à la décarbonation rapide de secteurs en cours de transition par la fourniture de molécules identiques à leurs équivalents fossiles, certains secteurs nécessitant plusieurs années avant d'adapter leurs procédés et produits aux nouveaux vecteurs énergétiques bas carbone (électricité, hydrogène, etc.), (ii) en contribuant durablement à la décarbonation de secteurs pour lesquels les autres vecteurs énergétiques de décarbonation resteront difficilement utilisables efficacement (densité volumétrique d'énergie insuffisante comparée aux hydrocarbures de synthèse, par exemple), notamment pour le transport aérien long-courrier et le transport maritime de fret.

Le CEA suggère, en complément des biocarburants et des RFNBO, de considérer et reconnaître le rôle potentiel des carburants hybrides s'appuyant à la fois sur des ressources biologiques et des énergies renouvelables.

Certains biocarburants avancés produits par des procédés tels que celui de Fischer-Tropsch pour gazéifier des résidus de biomasse lignocellulosique sont déjà certifiés par l'ASTM comme carburants aéronautiques durables (SAF) et ils ont un potentiel sous valorisé. En effet, la composition de la biomasse n'est pas totalement équilibrée pour produire des biocarburants en valorisant totalement le

carbone et l'hydrogène biogéniques qu'elle contient. À cause d'une part stœchiométrique plus importante du carbone, ce dernier n'est pas totalement valorisé et émis sous forme de CO_2 par de telles installations. Il existe néanmoins une voie pertinente pour valoriser ce CO_2 biogénique concentré et déjà captif au sein du procédé, qui consiste à ajouter de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone à ce bio-procédé pour rééquilibrer la réaction de conversion et produire un carburant valorisant la totalité du carbone issu de la biomasse[ii,iii].

De par leur définition, qui dépend de l'origine de l'énergie nécessaire à leur synthèse, les biocarburants et RFNBO n'intègrent pas les carburants hybrides qui s'appuient à la fois sur de l'énergie issue de biomasse et renouvelable hors biomasse. À ce titre, et dans l'intérêt d'une valorisation optimale du carbone biogénique et de la biomasse exploitée au service de la décarbonation de l'industrie et des transports, il conviendrait de reconnaître ces carburants hybrides « électro-bio-carburants » afin qu'ils puissent bénéficier des même soutiens et exigences sur leur ACV (réduction des émissions) que les biocarburants et RFNBO.

Le CEA invite la Commission à définir un cadre spécifique aux carburants bas carbone d'origine non biologique, éventuellement dans un autre texte que celui de la directive sur les énergies renouvelables. Ces carburants pouvant répondre aux mêmes exigences environnementales sur le cycle de vie que les RFNBO, ils auront un rôle à jouer dans la décarbonation de nos économies.

Le CEA est opposé à la proposition de la Commission (article 22a) d'exiger des Etats membres que les RFNBO utilisés en tant qu'énergie finale et usages non énergétiques comptent pour 50% de l'hydrogène utilisé en tant qu'énergie finale et usage non énergétique dans l'industrie. En effet, certains Etats membres tels que la France envisagent un rôle important pour l'hydrogène bas carbone (produit notamment grâce à de l'énergie nucléaire). Cette contrainte sur les RFNBO devrait donc concerner 50% de l'hydrogène **renouvelable** (et non pas de l'hydrogène en général) utilisé comme énergie finale et dans l'industrie.

Les carburants de synthèse (RFNBO et carburants bas carbone d'origine non biologique) ne doivent pas être utilisés en priorité dans la mobilité légère. En effet, d'autres options de décarbonation plus efficaces sont disponibles pour la mobilité légère (électrification par batteries, notamment). En outre, le gisement limité de carburants de synthèse et de biocarburants sera nécessaire (et probablement insuffisant) pour assurer la décarbonation de certains secteurs industriels et de la mobilité lourde, qui ne disposent pas d'autres options de décarbonation.

3. Mécanisme de garantie d'origine de l'électricité

Pour permettre au consommateur de soutenir les énergies renouvelables, un mécanisme de « garanties d'origine » (GO) permettant un traçage contractuel de l'électricité (uniquement renouvelable) a été mis en place. Ce mécanisme est censé apporter, par la vente de certificats, un financement aux énergies renouvelables qui soit complémentaire à celui accordé par les États *via* les compléments de rémunération. C'est un aspect important : le mécanisme de GO est conçu comme un soutien aux énergies renouvelables, qui fonctionne en fléchant contractuellement et contre rémunération une production renouvelable à une consommation[iv]. Il n'a pas été conçu pour assurer un fléchage physique[v].

Fonctionnement des garanties d'origine

L'exploitant d'une unité de production renouvelable produit de l'électricité et des certificats garantissant l'origine de cette électricité. Les deux sont échangeables indépendamment[v]. L'origine de l'électricité achetée n'est donc pas corrélée à l'origine des certificats qui en garantissent la provenance (à part initiative volontaire de certains producteurs-fournisseurs d'énergie renouvelable décidant de vendre conjointement leur électricité et leurs certificats). Autrement dit, un producteur peut vendre son électricité à un fournisseur d'électricité de son pays et ses certificats à un autre fournisseur d'électricité, dans son pays ou ailleurs en Europe. En outre, les certificats sont valables un an[vi].

Ainsi, pour prendre un exemple, l'électricité consommée à 19h un 15 décembre dans l'est de l'Union européenne, quelle que soit son origine physique, peut être garantie d'origine renouvelable grâce à un certificat émis à un midi de l'été précédent par une installation solaire photovoltaïque dans le sud de l'Union européenne.

4. Limites des garanties d'origine

Validité d'un an

Un fournisseur d'électricité peut, grâce à ce mécanisme, proposer à ses clients des contrats « 100% renouvelable ». Pour ce faire il est astreint à deux conditions :

- d'une part, il doit s'approvisionner en électricité auprès d'un producteur quelconque en faisant appel à un gestionnaire d'équilibre chargé de faire converger à tout moment l'électricité achetée au producteur à celle demandée par le consommateur. Cet équilibre en temps réel sera assuré par des installations pilotables, principalement fossiles et nucléaires, même si l'hydraulique (renouvelable) contribue également ;
- d'autre part, il doit acheter suffisamment de garanties d'origine sur le marché européen pour couvrir toute l'électricité certifiée « 100% renouvelable » qu'il aura vendue dans l'année. Ces garanties assureront que, dans l'année, un volume d'électricité renouvelable au moins équivalent au volume vendu aura été injecté sur le réseau européen.

Ainsi, la charge de gestion de l'intermittence n'est pas de la responsabilité du fournisseur d'un contrat « 100% renouvelable ». Elle est reportée sur le système électrique pilotable européen. **Ce mécanisme n'oblige pas ni n'incite le fournisseur à investir dans les moyens de flexibilité (capacités de stockage, flexibilisation de la demande et capacités pilotables de production électrique) qui seraient nécessaires pour pouvoir physiquement répondre à la demande instantanée de sa clientèle grâce à de l'électricité renouvelable.**

Le mécanisme actuel des garanties d'origine ne contribue pas dès lors à construire un système électrique bas carbone stable, dans lequel l'offre et de la demande évolueraient de conserve. Au contraire, en niant le besoin de flexibilité, il occulte les difficultés liées à l'équilibrage en temps réel du réseau. Ce signal tronqué peut conduire des États, entreprises et particuliers à envisager des chemins de décarbonation irréalistes, entraînant la persistance d'une dépendance de long terme aux combustibles fossiles.

Dans certains cas extrêmes, le système actuel de garantie d'origine peut induire des effets contraires à l'objectif même de décarbonation. Par exemple, si de l'hydrogène devait être produit dans un pays

au bouquet fortement carboné, son intensité carbone pourrait être supérieure à de l'hydrogène produit par vaporéformage de méthane. Cet hydrogène pourrait pourtant être étiqueté « renouvelable » grâce à l'achat de garanties d'origine pour l'électricité ayant servi à le produire.

Les garanties d'origine servent comme un stockage virtuel de l'électricité renouvelable, gratuit car son coût – pour s'adapter aux injections d'électricité intermittente non corrélée à la demande que les fournisseurs d'électricité doivent satisfaire – est reporté sur le contribuable[vii] et sur les opérateurs des capacités pilotables présentes sur le réseau.

Afin de pallier ce problème, le CEA demande donc que la durée de vie des garanties d'origine soit au plus tôt réduite à un mois en Europe, *a minima* pour les pays membres de l'AIB[1]**.** Cette mesure est peu contraignante, réaliste (la France l'a déjà mise en place) et enverra le signal auprès des fournisseurs d'électricité de la nécessité pour eux de commencer à considérer progressivement l'ajustement instantané de la demande de leur clientèle avec l'offre qu'ils s'engagent à fournir.

En parallèle, le CEA demande qu'une trajectoire de réduction progressive de la durée de vie des garanties d'origine (mois, puis semaine, puis jour, puis heure) soit annoncée, avec un calendrier. Cela offrira de la visibilité aux producteurs et fournisseurs d'électricité ainsi qu'aux industriels afin de les inciter à mettre en place des solutions de flexibilité. Progressive, cette trajectoire leur laissera le temps d'adapter la production électrique, son stockage et les contrats afin de développer des flexibilités permettant de maintenir la cohérence entre offre et demande d'électricité dans un contexte de décarbonation.

Les garanties d'origine devraient *in fine* n'être valables que pendant l'heure à laquelle elles ont été émises. Ainsi, pour assurer à un client que l'électricité consommée par une nuit sans vent est bien renouvelable, le fournisseur serait contraint d'investir ou de susciter des investissements dans des capacités renouvelables pilotables (hydraulique…), la flexibilisation de la demande de ses clients et/ou du stockage. Seul un pas de temps horaire permettra de prendre en compte correctement le besoin de flexibilités jusqu'à l'échelle infrajournalière.

Double comptage ?

Dans les pays ayant un bouquet électrique avec une forte part d'énergies renouvelables, la population ne demande pas nécessairement les garanties car elle sait que l'électricité provient physiquement d'énergies renouvelables. Les garanties non demandées peuvent donc être – et sont de fait – vendues ailleurs en Europe (voir Figure 1). Ainsi, alors qu'un consommateur peut penser disposer d'une électricité renouvelable (lien physique), c'est un autre, ailleurs en Europe, qui seul peut légalement s'en prévaloir s'il en a acheté les garanties d'origine. S'il n'y a pas de double comptabilité en tant que telle, le schéma actuel induit une confusion entre la perception d'un approvisionnement en électricité renouvelable par les consommateurs (appuyé par une réalité physique) et son caractère formel. Paradoxalement, certains pays avec une très forte pénétration des renouvelables dans leur bouquet ne devraient plus pouvoir s'en prévaloir que s'ils disposent des garanties d'origine correspondantes.

Pour limiter ce phénomène, les échanges internationaux intra-européens de certificats devraient être limités aux volumes d'interconnexions réservés. Ainsi, un pays ne pourrait pas vendre davantage de certificats que ce que ses interconnexions électriques permettent. Cela permettrait en outre de limiter la quantité de certificats disponibles sur le marché européen et d'en augmenter la valeur

[1] AIB : Association of Issuing Bodies. Elle permet les échanges de garanties d'origine.

(aujourd'hui très faible, ce qui les rend peu utiles quant à leur fonction première qui est d'apporter un soutien financier aux énergies renouvelables).

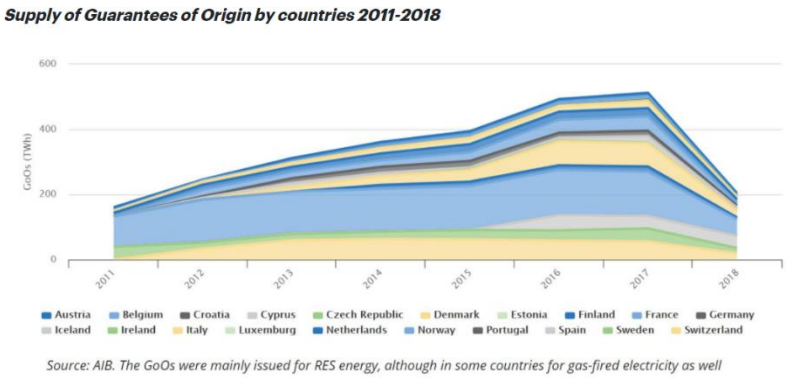

Figure 1 - Pays d'origine des garanties d'origine échangées sur le marché européen (source : ICIS)

Étendre le périmètre des garanties d'origine à toutes les sources d'électricité

Les garanties d'origine ne concernent actuellement que l'énergie renouvelable. Considérant qu'elles sont de plus en plus utilisées afin de tracer l'origine de l'électricité pour se prévaloir d'une consommation donnée, **il conviendrait d'étendre ce système à toutes les sources d'électricité** (renouvelables mais aussi nucléaire, charbon, gaz et fioul), **tout en rendant obligatoire la génération de certificats lors de la production d'électricité et leur transmission jusqu'au consommateur final**.

Cela permettrait de garantir **la traçabilité de l'électricité et la transparence du marché**. Le consommateur final serait en mesure de connaître la répartition par origine de l'électricité qui lui est fournie. Ainsi, les consommateurs des pays dont le bouquet est principalement renouvelable verraient que s'ils ne demandent pas les garanties d'origine associées à la production électrique de leur pays, le bouquet résiduel les alimentant en électricité peut être fortement carboné.

Afin que la transparence soit totale, **les garanties d'origine devraient également inclure l'information du contenu carbone sur le cycle de vie normalisé de l'électricité dont elles garantissent l'origine**. Le consommateur final pourrait ainsi connaître les émissions totales découlant des choix opérés par son fournisseur d'électricité, eux-mêmes pouvant être guidés par son contrat de fourniture.

Notons qu'une telle évolution n'ôterait rien à la fonction première de soutien aux énergies renouvelables qui était au cœur du mécanisme de garantie d'origine. Elle le renforcerait au contraire. L'accès à l'information concernant l'origine de l'électricité consommée inciterait les consommateurs à demander des garanties d'origine (renouvelables ou bas carbone) pour réduire leur empreinte carbone, ce qui les valoriserait à la hausse. En effet, un consommateur qui ne demanderait pas de garanties d'origine recevrait par défaut les garanties qui n'ont pas été demandées, c'est-à-dire *a priori* celles couvrant l'électricité produite à partir de combustibles fossiles.

Un tel système garantirait une transparence pour le consommateur vis-à-vis de l'origine de l'électricité qu'il achète et du contenu carbone afférent, tout en renforçant sa liberté de soutenir ou non telle ou telle énergie *via* les catégories de garanties d'origine qu'il pourrait demander.

Les garanties d'origine et l'émergence d'une filière hydrogène

Dans leur format actuel, les garanties d'origine, parce qu'elles sont échangeables sans limite en Europe, permettront d'utiliser des électrolyseurs pour produire de l'hydrogène « renouvelable » n'importe où, même dans les pays où le bouquet électrique est fortement carboné. Valables 1 an, les garanties d'origine masquent le problème de l'intermittence. Les électrolyseurs produisant de l'hydrogène estampillé « renouvelable » pourront le faire avec un facteur de charge élevé, incompatible avec ce que permettrait physiquement la production éolienne et solaire.

La Commission envisage pour éviter cela de mettre en place un mécanisme de traçage de l'électricité rigoureux, dont le pas de temps serait de 15 minutes, avec une contrainte géographique entre production électrique et d'hydrogène.

Créer un double système de garantie d'origine de l'électricité – un pour le cas général et un pour l'hydrogène – n'est pas la bonne approche :

- le nouveau système ne corrigerait en rien les failles du premier qui resterait appliqué partout (sauf à la production d'hydrogène) ;
- le traitement différencié entre la production d'hydrogène qui serait soumise à un mécanisme fonctionnel et rigoureux et les autres industries qui continueraient à être soumises à un mécanisme défaillant constitue une rupture d'équité durable entre les secteurs industriels et ne répond pas aux exigences de neutralité technologique ;
- la multiplication des systèmes de certification induit un degré de complexité supplémentaire alors qu'un système unique et corrigé présenterait des bénéfices bien supérieurs pour le système électrique.

Le CEA demande donc à ce que l'origine de l'hydrogène électrolytique soit déterminée grâce au mécanisme de garantie d'origine de l'électricité, corrigé grâce aux propositions de la partie précédente afin qu'il tienne compte du besoin de cohérence spatiale et temporelle entre production et consommation électrique. Ce besoin est général au système électrique. Il n'est pas spécifique à la seule production d'hydrogène**.**

Cependant, dans le cas de l'hydrogène, les garanties d'origine de l'électricité utilisées devraient <u>dès le départ</u> avoir été produites dans la même heure que leur utilisation. Cela évitera que la filière hydrogène se structure autour de modèles économiques non durables et qui seraient ensuite difficiles à remettre en question : à savoir produire de l'hydrogène en continu, indépendamment de la production électrique bas carbone instantanée.

En outre, utiliser le système de garantie d'origine tout en limitant pour l'hydrogène sa durée de vie à une heure permettrait d'envoyer aux autres utilisateurs des garanties d'origine le signal que le pas de temps horaire constitue l'horizon vers lequel ce système doit se diriger.

Enfin, le CEA réitère son appel à ne pas limiter l'hydrogène et les carburants dérivés à la seule production renouvelable mais à considérer toutes les énergies bas carbone. Tout d'abord, cela relève du droit des Etats membres à disposer de leur bouquet énergétique. Ensuite, cela augmentera la vitesse et les chances de succès de la décarbonation en offrant une palette moins restrictive d'énergies disponibles. Enfin, en se limitant aux seules énergies renouvelables, la production d'hydrogène sera davantage limitée – ce qui contraindra ses usages, donc son potentiel de décarbonation – et son coût sera plus élevé (alors que la question de la compétitivité constitue déjà un obstacle majeur à son déploiement) du fait d'un usage moins optimisé des électrolyseurs.

[i] Searchinger, T.D., Beringer, T., Holtsmark, B. et al. Europe's renewable energy directive poised to harm global forests. *Nat Commun* 9, 3741 (2018). https://doi.org/10.1038/s41467-018-06175-4
[ii] G. Boissonnet, 'Coupling electricity and biomass to biofuels increase performances in mobility. An overview in Europe (1BP.1)', presented at the 27th European Biomass Conference & Exhibition EUBCE, Lisbon, May 2019.
[iii] E. Peduzzi, G. Boissonnet, G. Haarlemmer, and F. Maréchal, 'Thermo-economic analysis and multi-objective optimisation of lignocellulosic biomass conversion to Fischer–Tropsch fuels', *Sustain. Energy Fuels*, vol. 2, no. 5, pp. 1069–1084, 2018, doi: 10.1039/C7SE00468K.

[iv] JOUE, Directive du Parlement européen et du conseil du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, L 328/117, article 19 : « *À cette fin, les États membres veillent à ce qu'une garantie d'origine soit émise en réponse à une demande d'un producteur d'énergie produite à partir de sources renouvelables, à moins que, pour tenir compte de la valeur de marché de la garantie d'origine, les États membres décident de ne pas octroyer une telle garantie d'origine à un producteur qui bénéficie du soutien financier d'un régime d'aide.* »
[v] JOUE, Directive du Parlement européen et du conseil du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, L 328/90, considérant 55 : « *Une garantie d'origine peut être transférée d'un titulaire à un autre, indépendamment de l'énergie qu'elle concerne.* »
[vi] JOUE, Directive du Parlement européen et du conseil du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, L 328/118, article 19 : « *Aux fins du paragraphe 1, les garanties d'origine sont valables pendant douze mois après la production de l'unité d'énergie concernée. Les États membres veillent à ce que toutes les garanties d'origine non encore annulées expirent au plus tard dix-huit mois après la production de l'unité d'énergie concernée.* »
[vii] Ce terme recouvre ici à la fois la personne morale ou physique payant des taxes ou des impôts. Avant 2017, les subventions aux EnR en France provenaient de la Contribution au service public de l'électricité (CSPE), taxe sur l'électricité. Entre 2017 et fin 2020, elles étaient prélevées sur la TICPE, taxe sur les carburants pétroliers. Depuis 2021, il n'y a plus de fléchage affiché, les subventions aux EnR sont financées directement par le budget de l'État.