



Le projet E-CHO d'Elyse Energy à Lacq : de l'innovation verte ou un éléphant blanc hors de prix ?



Introduction

Le projet E-CHO¹ est un plan ambitieux impliquant trois projets différents mais interconnectés à Lacq et ses environs, dans le département des Pyrénées-Atlantiques en France. Ce projet est porté par Elyse Energy,² une startup fondée en 2020, qui détient les deux tiers des actions d'E-CHO. Les autres partenaires et actionnaires sont Avril, Axens et IFP Investissements. Les trois usines prévues ont pour objectif de :

- Produire 72 000 tonnes d'hydrogène par an à partir d'électricité renouvelable et d'autres énergies « bas carbone » (probablement de l'énergie nucléaire) ;
- Produire 75 000 tonnes de carburants aviation et 35 000 tonnes de naphta¹ à partir de bois et hydrogène, via la gazéification et le procédé Fischer-Tropsch, avec captage du carbone ;
- Produire 200 000 tonnes de méthanol à partir d'hydrogène et de dioxyde de carbone capturé (« e-méthanol »).

Chacune de ces usines nécessiterait la mise en place de technologies dont le développement n'est pas

encore abouti, où que ce soit dans le monde, à savoir :

- L'électrolyse de l'hydrogène (c'est-à-dire l'utilisation de l'électricité pour diviser des molécules d'eau) est une technologie à forte consommation d'énergie qui a été testée avec succès, mais pas encore à l'échelle proposée ici ;
- Toutes les tentatives passées visant à produire des carburants liquides pour le transport, y compris des carburants d'aviation, à partir de bois ont échoué ;
- Bien que la technologie de fabrication de l'e-méthanol ait été éprouvée, l'e-méthanol n'a jusqu'à présent été produit à grande échelle nulle part dans le monde, le coût de l'hydrogène et du dioxyde de carbone constituant les principaux obstacles.

Nous examinerons ci-dessous à la fois le risque, coûteux, d'un échec du projet et des risques environnementaux en cas de maintien du ou des projets.

¹ Le naphta est utilisé comme solvant dans les raffineries de pétrole, les savons, les liquides de nettoyage, les vernis et les peintures, et parfois comme combustible pour les réchauds de camping.

L'hydrogène provenant d'électricité

Électrolyse de l'hydrogène, c'est-à-dire l'utilisation de l'électricité pour diviser l'eau en hydrogène gazeux et en oxygène est une technologie éprouvée. Cependant, aucun projet produisant même 15 000 tonnes, et encore moins 72 000 tonnes par an, n'existe à l'heure actuelle dans le monde. Seulement 0,1 % de la production d'hydrogène est réalisée par électrolyse³ – le reste étant fabriqué à partir de combustibles fossiles, principalement de gaz fossile.⁴ L'utilisation de combustibles fossiles pour produire de l'hydrogène émet beaucoup plus de gaz à effet de serre que la

combustion directe de combustibles fossiles pour produire de l'énergie.

La France et l'UE souhaitent développer massivement l'électrolyse de l'hydrogène. Cependant, cela pose trois problèmes fondamentaux : premièrement, les besoins importants en électricité et, deuxièmement, les besoins importants en eau. Troisièmement, l'hydrogène lui-même est un gaz à effet de serre indirect, c'est-à-dire aggrave le changement climatique s'il se propage dans l'atmosphère.

Les besoins en électricité

L'hydrolyse prévue dans le cadre d'E-CHO nécessiterait 520 MW d'électricité – soit 4.16 TWh, en supposant que le complexe industriel fonctionnerait 8 000 heures par an. Cela équivaut à près d'un cinquième de toute l'énergie solaire actuellement produite en France.⁵ Aucune nouvelle production d'énergie éolienne ou solaire n'est envisagée dans le cadre du projet, ce qui signifie que l'électricité serait détournée d'autres usages, tels que le chauffage et la climatisation des locaux, qui représentent actuellement la plus grande partie de la consommation d'énergie en France.

Cela aura probablement pour effet de retarder encore davantage l'abandon rapide et nécessaire des combustibles fossiles et de l'énergie issue de la biomasse à haute teneur en carbone : l'électricité renouvelable non émettrice de GES remplacera bien davantage le recours aux combustibles fossiles si elle

est utilisée pour électrifier le chauffage et la réfrigération, les transports et les processus industriels qui peuvent être électrifiés. Cela a été confirmé dans un rapport de l'Agence Internationale pour les Énergies Renouvelables (IRENA) sur le chauffage et la réfrigération des locaux (domaine où les pompes à chaleur sont plus efficaces que l'hydrogène) et les voitures et camions (domaine où les véhicules électriques sont plus efficaces).⁶ Selon une étude évaluée par des pairs, il en va de même, dans la plupart des cas, quand on compare les bus à hydrogène aux bus électriques.⁷ Une étude d'Agora Energiewende conclut que dans la plupart des procédés industriels, l'énergie électrique est également préférable à l'utilisation de l'hydrogène, bien qu'il existe certains procédés qui ne permettent pas d'utiliser l'électricité.⁸

Besoins en eau

Selon le porteur de projet, l'usine d'hydrogène proposée consommerait 625 m³ d'eau par heure, ce qui équivaut à 5 millions de m³ par an (encore une fois, en supposant 8 000 heures d'exploitation annuelle), et l'ensemble du projet (y compris la production de méthanol et de carburant d'aviation) nécessitent 8 millions de m³.⁹ Cette eau sera prélevée dans le Gave de Pau. Une demande aussi importante en eau est préoccupante, étant donné que les sécheresses et les vagues de chaleur sont de plus en plus fréquentes et sévères, y compris dans le sud de la France, et continueront à s'aggraver avec l'accélération prévisible du réchauffement, dû aux gaz à effet de serre déjà libérés dans l'atmosphère. Selon les conclusions du projet PIRAGUA, financé par le Fonds européen de développement régional pour aider la région des Pyrénées à s'adapter aux impacts du

changement climatique, le débit annuel des rivières dans la région diminuera de 15 % d'ici 2040 et de 20 % d'ici 2100.

En outre, un prélèvement d'eau d'une telle envergure et le rejet d'eaux à des températures élevées peuvent avoir des conséquences négatives importantes pour les poissons et autres organismes aquatiques, comme c'est le cas pour les centrales thermiques.¹⁰ Lors d'une réunion dans le cadre de la concertation publique d'Elyse, des inquiétudes sérieuses ont été formulées, après qu'un représentant du projet ait mentionné que les eaux rejetées atteindraient une température pouvant aller jusqu'à 30°C. L'entreprise a depuis déclaré que cette température serait maintenue en dessous de 28°C,¹¹ mais cela reste bien au-delà des

niveaux de tolérance pour les truites de rivière par exemple.¹²

L'hydrogène en tant que gaz à effet de serre indirect

L'hydrogène n'est pas en soi un gaz à effet de serre, mais l'hydrogène qui s'échappe dans l'atmosphère réagit avec l'oxydant le plus important, OH (les radicaux hydroxyles), responsable de la décomposition du puissant gaz à effet de serre méthane. Ainsi, les fuites d'hydrogène augmentent la durée de vie

atmosphérique du méthane. L'ampleur exacte du réchauffement provoqué par les fuites d'hydrogène est un sujet de débat et de recherche, mais le fait que les fuites d'hydrogène contribuent au réchauffement n'est pas contesté.¹³

Les biocarburants d'aviation à base de bois

S'agit-il d'une technologie réaliste ?

Comme Biofuelwatch l'a montré dans un rapport de 2018,¹⁴ la quête de biocarburants pour les transports fabriqués à base de bois remonte au début du 20e siècle, la première raffinerie d'éthanol utilisant le bois ayant ouvert ses portes en Caroline du Sud en 1910. Même si elle réussissait à produire de l'éthanol, les rendements étaient si faibles qu'elle a dû mettre la clé sous la porte. Depuis lors, toutes les tentatives visant à fabriquer des carburants liquides pour les transports à partir du bois ont échoué en raison des faibles rendements et/ou de problèmes techniques.

La technologie choisie par E-CHO repose sur la gazéification du bois et le procédé Fischer-Tropsch, suivis de la valorisation du combustible en bio kérosène. Le bois est gazéifié en l'exposant à des températures élevées avec un flux d'oxygène contrôlé. Cela produit un gaz, appelé gaz de synthèse, qui doit ensuite être refroidi et nettoyé. Le procédé Fischer Tropsch repose sur des réactions chimiques de ce gaz de synthèse pure avec des catalyseurs dans un réacteur. Bien qu'il soit coûteux, ce procédé a pu être utilisé avec le charbon (notamment par le régime de l'apartheid sud-africain pour contourner l'embargo pétrolier) et également avec le gaz fossile. Cependant, il n'a jamais été utilisé avec succès à grande échelle en utilisant de la biomasse.

Les principaux problèmes liés à la gazéification de la biomasse et au procédé Fischer-Tropsch sont les suivants :

1. La formation de goudrons pendant le processus de gazéification : L'élimination ou la prévention de la formation de ces goudrons reste un défi important pour la gazéification de la biomasse, car les goudrons peuvent obstruer et corroder les équipements de

l'usine.¹⁵ Bien qu'il existe des gazéificateurs de biomasse performants, de nombreux projets de gazéification de la biomasse se sont soldés par un échec.¹⁶

2. Un niveau extrêmement élevé de pureté du gaz de synthèse est nécessaire pour produire du carburant utilisable : selon le rapport final d'un projet de recherche et développement financé par la Commission européenne en 2016, « la pureté du gaz de synthèse doit atteindre des concentrations en ppb [parties par milliard] ». ¹⁷ À notre connaissance, ce deuxième problème n'a encore jamais été résolu.

De plus, le projet E-CHO cherche à ajouter à ce processus industriel une technologie de prétraitement très complexe : la torréfaction. Cela nécessite de chauffer, en l'absence d'oxygène, la biomasse à 200-400°C afin de produire des granulés de bois torréfié. En 2021, Biofuelwatch s'est penché sur les succès et les échecs commerciaux de la production de ces « granulés noirs », y compris sur la torréfaction elle-même. Nous avons trouvé 20 entreprises qui avaient investi dans différents projets de torréfaction de biomasse, mais aucun d'entre elles n'avait réussi.¹⁸ La formation de goudron lors de la torréfaction et l'impossibilité d'obtenir la qualité souhaitée de granulés de bois semblent constituer les deux problèmes fondamentaux.

Enfin, E-CHO souhaite capter le CO₂ issu du procédé.

Un article évalué par des pairs de 2021 a examiné les projets de biomasse ligneuse impliquant la gazéification et le procédé Fischer Tropsch à travers le monde. Il a identifié 12 de ces projets.¹⁹ Quatre

d'entre eux ont été qualifiés « d'annulés », un « d'inactif » et un autre comme étant « en attente ». Un était « en construction » et cinq étaient « opérationnels ».

L'usine décrite comme « inactive » était une usine pilote exploitée par une société, CHOREN, qui est devenue insolvable en 2011. CHOREN a fait faillite parce que ses investisseurs ont perdu patience face à son échec à commercialiser la gazéification de la biomasse et la gazéification Fischer Tropsch.²⁰

Le projet décrit comme « en attente » concernait une très petite usine pilote Fischer Tropsch en Autriche qui ne semble pas avoir été remise en service.

Le projet « en construction » était une usine de biocarburants pour l'aviation à l'échelle commerciale dans l'Oregon, appelée Red Rock Biofuels (RRB). Cette usine n'a jamais été mise en service et, après plusieurs années de retard, l'entreprise a fait faillite, après que RRB ait reçu 77 millions de dollars (70,4 millions d'euros) de subventions de l'État fédéral, ainsi que 300 millions de dollars (274,6 millions d'euros) d'obligations de développement économique, exonérées d'impôt et émises par l'État de l'Oregon. La technologie utilisée était tout à fait similaire à celle proposée par E-CHO, sauf qu'elle ne faisait pas appel à la torréfaction ni au captage du carbone.

Quatre des usines pilotes décrites comme « opérationnelles » ne sont en fait pas des projets de biomasse, ou de biomasse pure. L'une, celle de GTI Des Plaines, a utilisé la biomasse pour la dernière fois en 2008, puis est passée au charbon,²¹ et deux sont - ou étaient - des usines pilotes de co-gazéification du charbon et de la biomasse.²² Une autre est une petite usine pilote pour tester des procédés et des matières premières variés.²³

Le dernier projet classé « opérationnel » était l'usine pilote BioTFuel qui a testé la technologie précise qui sera utilisée dans le projet de Lacq. Nous avons envoyé un e-mail à Elyse Energy le 4 mars 2024 pour savoir quelle quantité de carburant avait pu être produite dans cette usine pilote en 2023. La société a répondu : « *BioTfuel était une usine de démonstration semi-industrielle qui a produit des **quantités négligeables** de SAF et de naphtha pour démontrer la plupart du temps la chaîne de valeur complète. La prochaine étape est une usine commerciale, appelée BioTJet, qui sera construite dans le sud-ouest de la France.* » [Notre soulignement].

De toute évidence, la technologie permettant de produire des biocarburants d'aviation à partir de bois n'a nulle part été utilisée avec succès. Nous pensons donc que les chances d'une répétition de l'expérience Red Rock Biofuels – un échec coûteux pour les bailleurs de fonds publics et privés – sont très élevées, si la construction de ces usines devait se confirmer.

Quels seraient les impacts si cela devait tout de même fonctionner ?

Selon le porteur de projet, celui-ci nécessitera 300 000 tonnes de biomasse anhydre provenant d'environ 500 000 tonnes de bois vert (c'est-à-dire du bois fraîchement coupé).²⁴ La teneur en humidité des arbres varie selon les espèces, de nombreuses espèces ayant une teneur en humidité supérieure à 50 %, ²⁵ ce qui signifie qu'en plus de bois fraîchement coupé peut être nécessaire.

Touche Pas à Ma Forêt - Pour le Climat, un collectif français d'associations régionales et nationales opposées au projet E-CHO, estime que le prélèvement annuel de biomasse forestière annoncé par le porteur de projet entraînera un coût carbone entre 300 000 et 1,5 million de tonnes de CO₂ par an, selon le type de récolte.

Lors d'une réunion de concertation publique, les représentants d'Elyse Energy ont déclaré que durant les premières années du projet, seul du bois rond (des arbres) serait utilisé. Nous supposons que cela est dû

au fait que des matières premières de mauvaise qualité, telles que les broussailles laissées après l'exploitation forestière ou les résidus de scierie contenant une grande quantité d'écorce, ne feraient qu'ajouter aux défis techniques majeurs de la gazéification de la biomasse et du procédé Fischer-Tropsch.

Depuis 2001, une grande partie de la France a connu une réduction significative de l'étendue du couvert forestier, la région forestière des Landes ayant été la plus touchée, selon une étude de 2023 basée sur l'analyse de données satellite.²⁶ Selon la Commission européenne, la France ne devrait pas pouvoir atteindre son objectif d'absorption de carbone d'ici 2030 dans le cadre du règlement sur l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie (UTCATF).²⁷ Pourtant, la stratégie nationale bas carbone du gouvernement français, publiée en 2020, prévoit une augmentation significative de l'exploitation forestière, alors que cela réduira encore

davantage la capacité des forêts à séquestrer le carbone.²⁸ Selon l'Institut national de l'information géographique et forestière, la quantité de CO₂ séquestrée annuellement par les forêts françaises a diminué d'un tiers au cours de la décennie précédant 2021.²⁹

Une demande supplémentaire de 500 000 tonnes de bois par an ne peut qu'aggraver ces impacts climatiques, tout en amplifiant la destruction des habitats naturels, ce qui nuit à la biodiversité dans la région.

Production d'e-méthanol

Il s'agit de la troisième composante du projet E-CHO. La production d'e-méthanol consiste à faire réagir de l'hydrogène avec du dioxyde de carbone en présence d'un catalyseur. En novembre 2023, la première usine pilote au monde a été mise en service en Allemagne, dans le but de tester et développer cette technologie.³⁰

Le développement de toute nouvelle technologie implique une courbe d'apprentissage, appelée « niveaux de maturité technologique ». Si l'on se réfère aux définitions adoptées par la Commission européenne, le fait que la première usine pilote au monde vient d'être ouverte place la production d'e-méthanol entre les niveaux de maturité technologique 4 et 5 sur un total de neuf niveaux. L'exploitation commerciale à grande échelle correspondant au niveau 9.

Les porteurs du projet E-CHO chercheraient apparemment à « sauter » plusieurs niveaux de maturité technologique et à construire une installation à grande échelle, produisant 200 000 tonnes d'e-méthanol par an, bien que cette technologie n'ait pas

encore été validée au niveau d'une usine pilote. Biofuelwatch n'a connaissance d'aucun développement technologique ayant réussi un tel bond en avant dans le secteur de l'énergie.

Une autre préoccupation est que le projet nécessiterait 280 000 tonnes de CO₂ par an. Et pourtant, selon Elyse Energy, 30 % seulement de ce CO₂ pourrait provenir du captage de carbone sur le site de l'usine de bio-kérosène en projet (qui, comme nous l'avons vu, est elle-même confrontée à de formidables obstacles techniques). Le porteur de projet a déclaré que le reste devrait provenir d'autres industries voisines. Pourtant, il n'existe actuellement aucune industrie à proximité qui capte du CO₂, et il n'existe pas non plus de pipelines pour le transport du CO₂. Le transport par camion ou par train est proposé comme alternative, mais cela conduirait à de sérieux problèmes de sécurité, étant donné que le CO₂ est toxique et même mortel à des concentrations élevées. Puis, il n'est pas clairement mentionné auprès de qui E-CHO se procurerait ce CO₂.

Conclusion

Si le projet E-CHO aboutissait, il y aurait toute une série d'impacts négatifs potentiellement graves sur le climat, l'eau douce, les forêts et la biodiversité :

L'usine de production de biocarburant pour l'aviation nécessiterait au moins 500 000 tonnes de bois de haute qualité et ajouterait ainsi à la pression déjà excessive et croissante sur les forêts en France. Que ce soit directement ou indirectement, cette nouvelle demande importante de bois aurait un impact négatif sur les habitats forestiers et les espèces qui en dépendent. Cela réduirait également les stocks et la séquestration du carbone, aggravant ainsi le changement climatique au lieu de l'atténuer.

La centrale à hydrogène proposée détournerait des quantités importantes d'énergie électrique renouvelable d'autres usages, qui auraient pu contribuer à un remplacement bien plus important des

combustibles fossiles, donc à une réduction des gaz à effet de serre. Cela nécessiterait également de grandes quantités d'eau fluviale et nuirait probablement aux poissons et à d'autres espèces aquatiques, tout en épuisant les ressources en eau douce, alors que les sécheresses et les vagues de chaleur sont de plus en plus fréquentes et graves.

Enfin, l'usine d'e-méthanol, qui dépend du bon fonctionnement des deux autres usines en projet, soulève de sérieuses questions quant à la sécurité du transport des grandes quantités de dioxyde de carbone prévu par Elyse.

Il existe des raisons sérieuses de douter de la réussite du projet E-CHO. Le projet E-CHO est porté par une startup, Elyse Energy. Dans l'ensemble, 90 % des startups échouent,³¹ et le bilan des startups dites « Cleantech » (ou technologie propre), qui reçoivent

d'importantes sommes de la part de fonds de capital-risque, n'est pas meilleur.³² Cela laisse à penser que les financements publics et privés importants destinés au projet E-CHO ne garantiront pas à eux seuls la réussite du projet. En effet, bon nombre des projets ayant échoué dans la transformation du bois en biocarburant et en granulés noirs, déjà mentionnés ci-dessus, ont également attiré d'importants financements privés et publics. Comme l'indique un article récent publié par le MIT Technology Review,³³ « les investisseurs risquent des milliards en développant des technologies émergentes ». Selon l'auteur, cela s'explique par le fait que « transformer les avancées académiques en sciences physiques et l'ingénierie en entreprises commerciales est un projet semé d'embûches. Cela nécessite généralement que les startups construisent ce qu'on appelle des usines de démonstration ». Comme indiqué ci-dessus, le projet E-CHO repose sur l'application commerciale à grande échelle de deux

technologies (carburants d'aviation à base de bois et production d'e-méthanol) qui n'ont pas encore fait leurs preuves, même à l'échelle d'une usine de démonstration. De plus, le volet électrolyse de l'hydrogène du projet utilise une technologie qui a été démontrée avec succès, mais jamais à l'échelle proposée dans ce projet.

A en croire l'expérience d'autres projets ayant échoué, notamment dans le secteur des « biocarburants avancés », le risque de perte significative de fonds publics ainsi que d'investissements privés est très élevé.

-
- 1 e-cho-concertation.fr/
 - 2 elyse.energy/
 - 3 iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen
 - 4 Global Hydrogen Review 2023, IEA, Clean Energy Ministerial, Hydrogen Initiative
iea.blob.core.windows.net/assets/ecdfc3bb-d212-4a4c-9ff7-6ce5b1e19cef/GlobalHydrogenReview2023.pdf
 - 5 statista.com/statistics/768066/electricity-production-france-source/
 - 6 Hydrogen: A Renewable Energy Perspective, Report prepared for the 2nd Hydrogen Energy Ministerial Meeting, Septembre 2019, irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf
 - 7 Electric and hydrogen buses: Shifting from conventionally fuelled cars in the UK, Kathryn G. Logan et.al., Transportation Research Part D: Transport and Environment, Août 2020,
sciencedirect.com/science/article/pii/S136192092030537X
 - 8 Breaking free from fossil gas, Agora Energiewende, Mai 2023, agora-energiewende.org/fileadmin/Projekte/2021/2021_07_EU_GEXIT/A-EW_292_Breaking_free_WEB.pdf
 - 9 e-cho-concertation.fr/media/4819438ed9f5b4273107/elyse-ECHO-Depliant_A5-230925.pdf
 - 10 Par ex. nrdc.org/sites/default/files/power-plant-cooling-IB.pdf
 - 11 debatpublic.fr/sites/default/files/2024-02/Elyse%20Energy%20Projet%20E%20CHO%20Bilan%20Concertation%20Pr%C3%A9alable%2016%20f%C3%A9vrier%202024%20compress%C3%A9.pdf
 - 12 Field-Based Estimates of Thermal Tolerance Limits for Trout: Incorporating Exposure Time and Temperature Fluctuation, Kevin E. Wherly and Lizhu Wang, Transactions of the American Fisheries Society, 2007, deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/141436/tafs0365.pdf?sequence=1
 - 13 Voir par exemple: A multi-model assessment of the Global Warming Potential of hydrogen, Maria Sand et.al., Nature Communications Earth and Environment, Juins 2023, nature.com/articles/s43247-023-00857-8
 - 14 biofuelwatch.org.uk/wp-content/uploads/Cellulosic-biofuels-report-2.pdf
 - 15 A comprehensive review of primary strategies for tar removal in biomass gasification, M. Cortazar et.al., Energy Conversion and Management, Janvier 2023, sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890422012742
 - 16 Voir par exemple: Bioenergy and waste gasification in the UK, Barriers and research needs, Supergen Bioenergy Hub, 2019, supergen-bioenergy.net/wp-content/uploads/2019/06/Bioenergy-and-waste-gasification-report-2019.pdf

-
- 17 cordis.europa.eu/project/id/308733/reporting
 - 18 biofuelwatch.org.uk/wp-content/uploads/Black-Pellets-report.pdf
 - 19 Gasification of lignocellulosic biomasses and Fischer-Tropsch synthesis projects worldwide, Henrique Real Guimarães, Energy Conversion and Management, October 2021, sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890421008050
 - 20 energycentral.com/c/ec/what-happened-choren
 - 21 gti.energy/wp-content/uploads/2022/05/06-tcbiomass2022-Presentation-Zach-El-Zahab.pdf
 - 22 tki.gov.tr/en-US/rede et southernresearch.org/southern-research-institute-wins-1-5-million-dept-of-energy-award-to-economically-produce-liquid-fuels-from-coal-and-biomass-mixtures/
 - 23 cutec.de/en/for-partners/plant-engineering/chemical-energy-systems/fischer-tropsch-pilot-plant
 - 24 e-cho-concertation.fr/blog/1923/les-ressources-necessaires-au-projet
 - 25 Moisture Relations and Physical Properties of Wood, Samuel V. Glass and Samuel L. Zelinka, Moisture Relations and Physical Properties of Wood, Avril 2010, fs.usda.gov/research/treesearc
 - 26 Tree canopy extent and height change in Europe, 2001–2021, quantified using Landsat data archive, Svetlana Turubanova et.al., Remote Sensing of Environment, Décembre 2023, sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425723003486?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=86336a384a626403
 - 27 commission.europa.eu/system/files/2023-12/Factsheet_Commissions_assessment_NECP_France_2023.pdf
 - 28 ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-01-20_MTES_SNBC2.pdf
 - 29 ign.fr/espace-presse/les-donnees-de-linventaire-forestier-national-confirment-limpact-du-changement-climatique-sur-la-sante-des-forets-francaises
 - 30 safety4sea.com/worlds-first-pilot-plant-for-green-methanol-production-inaugurated-in-germany/
 - 31 luisazhou.com/blog/startup-failure-statistics/
 - 32 technologyreview.com/2023/12/02/1084059/climate-tech-startups-are-back-and-this-time-they-might-survive/
 - 33 technologyreview.com/2023/12/02/1084059/climate-tech-startups-are-back-and-this-time-they-might-survive/