BUREAU FRANÇAIS des e-fuels

SIAPARTNERS

Observatoire international des e-fuels.

La course mondiale aux e-fuels est lancée

Février 2024

La France est sur la ligne de départ pour structurer une filière domestique de production d'e-fuels nécessaire pour décarboner les transports maritime et aérien, dans un monde comptant 11 projets de synthèse d'e-kérosène et d'e-méthanol de tailles supérieures à 200 ktep / an*

** 200 ktep : équivalent à 1 300 000 trajets individuels Paris – New York*

Avant-propos.

Charlotte de Lorgeril

Partner Energy, Utilities & Environment, Sia Partners
Porte-parole du Bureau français des e-fuels

Fort de ses +15 ans d'expérience dans les carburants alternatifs, nous avons développé au sein de Sia Partners une conviction de notre capacité d'action collective pour relever les nombreux défis de la décarbonation de nos transports et de nos industries. **L'apparition de filières de production d'e-fuels nous apparait comme une condition non suffisante mais nécessaire pour décarboner nos sociétés**.

Le 1er *Observatoire français des e-fuels* paru en juillet 2023 a souhaité donner des clés pour comprendre les enjeux spécifiques à la France pour le développement de nouvelles chaînes de valeur nationales. Cet exercice a suscité de nombreuses réactions de la part d'acteurs de l'écosystème français, témoignant des interrogations pour ces solutions encore émergentes.

Il nous est apparu nécessaire de compléter ce travail en proposant une vision internationale des enjeux.

Fruit d'un travail de recherche rigoureux et d'une consultation de nombreux d'experts, dont des membres du Bureau français des e-fuels, cet *Observatoire international des e-fuels* que nous vous proposons aujourd'hui se veut également pédagogique. Il vise à donner les clés de compréhension des enjeux de coopération, de complémentarités, mais également de concurrence entre les pays les plus matures sur ces sujets.

La publication débute par un aperçu des dynamiques dans chaque grande aire géographique, esquissant une nouvelle géographie mondiale de l'énergie.

Il propose également d'approfondir nos réflexions par focus dédiés sur des pays européens et nord-américains.

L'*Observatoire international des e-fuels* démontre une forte dynamique mondiale, dans laquelle la France est fortement ancrée. La France possède des atouts pour se positionner comme pays pionnier.

Cédric de Saint-Jouan

Président et fondateur, Vol-V
Porte-parole du Bureau français des e-fuels

Si l'émergence des énergies renouvelables a permis, ces dernières décennies, de décarboner la production d'électricité, **le temps est venu de s'attaquer à d'autres usages plus difficiles à décarboner,** notamment le transport lourd, aérien et maritime.

Des objectifs ambitieux ont été fixés par l'Europe ainsi que le gouvernement français et les projets d'e-fuels émergent sur notre territoire dès aujourd'hui.

La France qui dispose d'un **avantage compétitif important grâce à un mix électrique décarboné,** bénéficie d'une **opportunité de réindustrialiser, d'améliorer sa souveraineté énergétique et de développer des savoir-faire qui seront exportables.**

Ce tournant nécessite avant tout de mettre à disposition **les quantités d'électricité bas-carbone (renouvelables et nucléaires) nécessaires** et de développer rapidement des capacités additionnelles pour accompagner les besoins futurs.

Résumé exécutif

Des solutions au service de la transition énergétique, prêtes à se déployer

De nombreux bénéfices à attendre de l'industrialisation des filières des e-fuels	
Levier de décarbonation de secteurs non électrifiable	**En combinant de l'hydrogène décarboné et du CO_2 ou de l'azote, les e-fuels apportent une solution de décarbonation à des secteurs non électrifiables**, particulièrement pour les mobilités lourdes et certaines industries, en **complément des leviers de sobriété et d'efficacité énergétique**.
Opportunités industrielles et de création d'emplois	La production d'e-fuels sera synonyme de **développement de nouvelles filières industrielles**. Pour la France, l'édition 2023 de l'*Observatoire des e-fuels* (Sia Partners, Bureau des e-fuels) a ainsi estimé un potentiel de 3 000 créations d'emplois directs et indirects à horizon 2030, sur la base des projets annoncés.
Enjeux géopolitiques, variables selon les continents	Les pays importateurs d'hydrocarbures gagneront en **indépendance énergétique** en développant des filières basées sur la valorisation de ressources (électricité, CO2). Les pays pouvant bénéficier de l'électricité renouvelable à bas coût pourront quant à eux développer des **filières d'exportation**.

Des technologies disponibles et de nombreux projets de grande échelle dans le monde	
Des briques technologiques maitrisées	La synthèse des e-fuels requiert le recours à des technologies ayant atteint un bon niveau de maturité technologique (TRL 8-9). Si l'assemblage de ces briques technologiques sur des unités industrielles n'a pas encore été réalisé, **il n'existe pas d'obstacle technologique à leur déploiement à grande échelle.**
Des projets à fortes capacités annoncés dans le monde entier	**77 projets de capacités supérieures ou équivalentes à 200 ktep/an (≈1 300 000 trajets individuels Paris - New York par projet)** ont été annoncés sur tous les continents, avec des modèles d'affaires variés. Seuls trois de ces projets ont cependant obtenu à ce jour une décision finale d'investissement.

Résumé exécutif

Risques concurrentiels appelant chaque Etat à développer une vision politique

Faire émerger les projets pilotes d'ici une décennie : un enjeu fort pour les européens et les nord-américains

Un intérêt à construire des chaînes de valeur nationales	La réalisation des opportunités économiques liées au développement de chaînes de valeur des e-fuels implique pour les pays consommateurs de réaliser sur leur sol l'**ensemble des étapes de la chaîne de valeur : production d'électricité, d'hydrogène, captage de CO_2 et synthèse des molécules.**
Forte concurrence internationale dans la filière e-ammoniac	**De nombreux pays bénéficiant d'accès à une électricité à bas coût se positionnent comme exportateurs d'hydrogène et d'e-fuels** sous forme d'ammoniac (difficultés de mobilisation du carbone nécessaire à d'autres filières e-fuels). 50 des 77 projets 200 ktep/an dans le monde sont concernés.
Des évolutions technologiques sur lesquelles se positionner	Faute de se positionner, **les pays consommateurs risquent de perdre leur avantage en termes de maitrise technologique** et de ne pas pouvoir assumer un rôle pionnier dans la réalisation de progrès qui permettront des gains de rendement énergétique, de 45% pour les 1ers sites industriels à 55% par la suite.

Un rôle clé des pouvoirs publics dans le soutien aux premières unités de tailles industrielles

Anticipations des besoins de mobilisation de ressources	Les projets recensés représentent un besoin de 83 TWh d'électricité décarboné au Danemark, en Espagne et en Suède, 8 $MtCO_2$ et 17 Mm^3 d'eau consommés. En Amérique du Nord, ces valeurs montent à 149 TWh, 17 $MtCO_2$ et 23 Mm^3. **Les infrastructures adéquates doivent être anticipées.**
Soutien à des modèles d'affaires émergents	Compte tenu du caractère innovant des projets, les modèles d'affaires des premiers sites industriels doivent être soutenus. Ce soutien peut se matérialiser par des **subventions et crédits d'impôts** (modèles européens et nord-américain) ou des **obligations réglementaires sur la demande** (modèle européen).

Résumé exécutif

Des atouts européens sur lesquels davantage capitaliser

Des avantages non négligeables pour l'émergence de filières e-fuels européennes

Un cadre réglementaire fixant un cap ambitieux	Différents textes européens fixent des **cibles obligatoires d'incorporation de molécules de synthèse renouvelables ou bas carbone** (e-fuels et hydrogène) dans notre mix énergétique : ReFuelEU (5% dans l'aviation en 2035), RED III (60% dans l'industrie en 2035) et FuelEU
Des stratégies hydrogène ambitieuses	L'UE et les Etats membres portent de fortes ambitions pour l'hydrogène décarboné (ex : pour 2030, 10 Mt d'hydrogène renouvelable produites dans l'UE; 6,5 GW de capacité d'électrolyse en France). **Les filières e-fuels bénéficieront du soutien à cette production et des gains d'efficacité liés à sa mise à l'échelle.**
Une disponibilité relativement bonne du CO2 à court terme	Les sources de CO_2 sont relativement bien réparties dans l'espace européen. **Les volumes nécessaires à l'émergence des filières e-fuels seront disponibles à court terme**. La problématique de la disponibilité pourra néanmoins se poser sur le long terme, avec l'accroissement de la production d'e-fuels.

Mais une montée à l'échelle des filières de production d'e-fuels restant à sécuriser

Risque de pénurie d'e-fuels incorporant du carbone en 2035	**Peu de projets ont confirmé une décision finale d'investissement** (1,5% des capacités en projet au Danemark, en Espagne et en Suède). Or, **les projets d'exportation vers l'Europe se concentrent sur l'e-ammoniac**. Un risque existe de pénurie d'e-kérosène et d'e-méthanol pour l'atteinte des cibles de l'UE.
Une vision politique stratégique à davantage affirmer	Malgré des politiques hydrogène ambitieuses, **peu de pays ont développé une stratégie dédiée aux filières e-fuels** accompagnée d'objectifs chiffrés et de mesures de soutiens spécifiques. Ces lacunes rendent incertain le cadre de marché et restreignent la planification de la mobilisation des ressources.

* Cible FuelEU : 2% de RFNBO (Renewable Fuel of Non Biological Origin) dans le secteur maritime d'ici 2035 si la valeur de 1% n'est pas atteinte en 2031. Ne concerne que les navires d'un tonnage brut supérieur à 5000 tonnes.

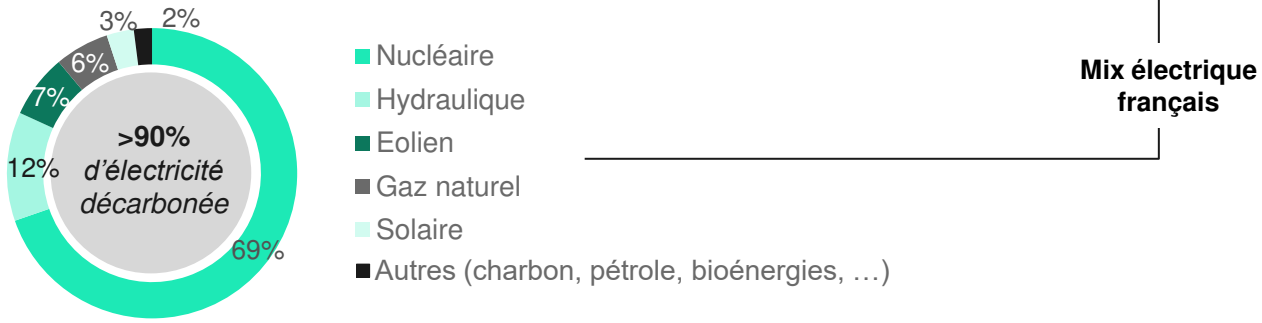
Résumé exécutif

Le cas de la France : un potentiel à exploiter pour devenir un pays pionnier

La France possède cependant des atouts pour devenir à terme un pays de premier plan dans le domaine des e-fuels. Elle dispose en effet d'une capacité de mobilisation d'électricité décarbonée presque unique en Europe et d'un grand savoir-faire technologique.

Un mix électrique en base fortement décarboné

	Canada	Espagne	Etats-Unis	Danemark	Suède	France*
Volume de production des projets annoncés (ktep)	2 953	1 292	2 372	1 229	472	672
Besoin électrique 2030 (TWh)	83	36	66	34	13	18
Contenu carbone actuel de l'électricité (gCO2/kWh)**	110	205	390	27	4	19



Un grand nombre d'acteurs complémentaires pour faire émerger une filière nationale

Consommateurs et fabricants d'appareils pour le secteur de la mobilité lourde

Industriels — *Aviation* — *Maritime*

Energéticiens et producteurs d'hydrogène

Acteurs mondiaux historiques — *Pure player H2 ou e-fuels*

Développeurs de technologies

Electrolyseurs basses et hautes températures — *Solutions pour le captage de CO2*

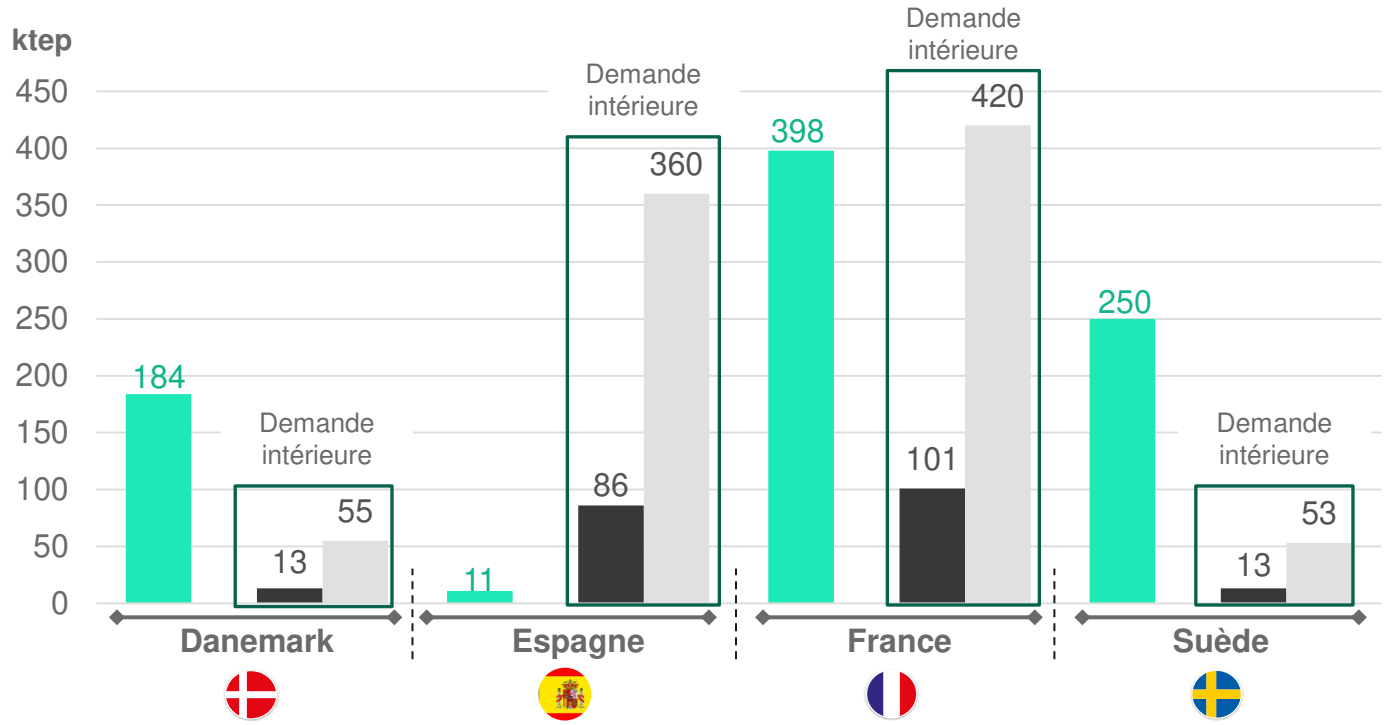
**Source :* Observatoire français des e-fuels, *Sia Partners et Bureau français des e-fuels, juillet 2023, avec valeurs mises à jour pour tenir compte des derniers projets annoncés*

*** Sources des indications sur les mix énergétiques : International Energy Agency, Energy Information Administration, European Energy Agency, Canada Energy Regulator*

Comparaison entre les capacités de production d'e-kérosène projetées dans les pays européens et les besoins nationaux liés au règlement ReFuelEU

La comparaison entre les capacités de production d'e-kérosène projetées dans les pays européens et la demande qui sera créée par la mise en application du règlement ReFuelEU (voir Partie 1) nous révèle les pays étudiés ne seront pas tous autosuffisants pour les besoins de leurs secteurs aériens. **De nouvelles initiatives devront ainsi être encouragées pour atteindre les obligations réglementaires, complétées par des échanges transfrontaliers.**

Demande nationale estimée en e-kérosène en 2030 et 2035 pour atteindre les objectifs ReFuelEu et production d'e-kérosène projetée en 2030 sur la base des projets annoncés



Production d'e-kérosène projetée en 2030 sur la base des projets annoncés

Demande nationale estimée en e-kérosène en 2030, avec respect des cibles ReFuelEu

Demande nationale estimée d'e-kérosène en 2035, avec respect des cibles ReFuelEu

Hypothèses de travail retenues

- Mise en œuvre des cibles d'incorporation de parts croissantes d'e-kérosène dans l'offre des distributeurs (cf : RefeuEU)
- Demande en carburant d'aviation constante entre 2019* et 2035 :
  - Trafic aérien constant
  - Pas de progrès dans le domaine de l'efficacité énergétique
  - Pas d'impact de l'obligation faite par le règlement ReFuelEU d'approvisionner les avions dans les aéroports européens à hauteur de 90% de ce qui est requis chaque année
- Pas de développement de l'hydrogène dans le mix énergétique du secteur aérien

** Source valeurs consommation d'e-kérosène en 2019 : Eurostat*

Table des matières.

Avant-propos 2

Résumé exécutif 3

Introduction

Eléments de définition 10

Pourquoi développer les e-fuels ? 11

Maturité des briques technologiques 12

Une évolution de l'environnement technologique à anticiper 13

Partie 1. Présentation des marchés selon les principales zones géographiques 14

Cartographie de projets de tailles >200 ktep/an 15

Fiche Afrique 16

Fiche Amérique du nord 18

Fiche Amérique du sud 20

Fiche Asie (hors Moyen-Orient) 22

Fiche Europe 24

Fiche Moyen-Orient 27

Fiche Océanie 29

Une dynamique mondiale esquissant une réorganisation des flux internationaux d'énergie 31

Partie 2. Etat des lieux des dynamiques sur une sélection de pays 32

Critères de sélection des pays 33

Avertissement sur la lecture des fiches pays 34

Fiche Danemark 35

Fiche Espagne 45

Fiche Suède 55

Fiche Canada 65

Fiche Etats-Unis 75

Partie 3. Comparaison des perspectives nationales 85

Organisation des filières 86

Les besoins en électricité décarboné 87

Soutien public apporté 88

Comparaison entre les capacités de production d'e-kérosène projetée dans les pays européens et les besoins nationaux liés au règlement ReFuelEU 89

Vision comparative – Eléments différenciant de la France 90

Quels avantages à confirmer un positionnement pionnier pour les pays les plus avancés ? 91

Annexes : Hypothèses retenues pour la construction des indicateurs des fiches pays 92

Remarques concernant les sources utilisées 98

Glossaire 99

Contacts et remerciements 101

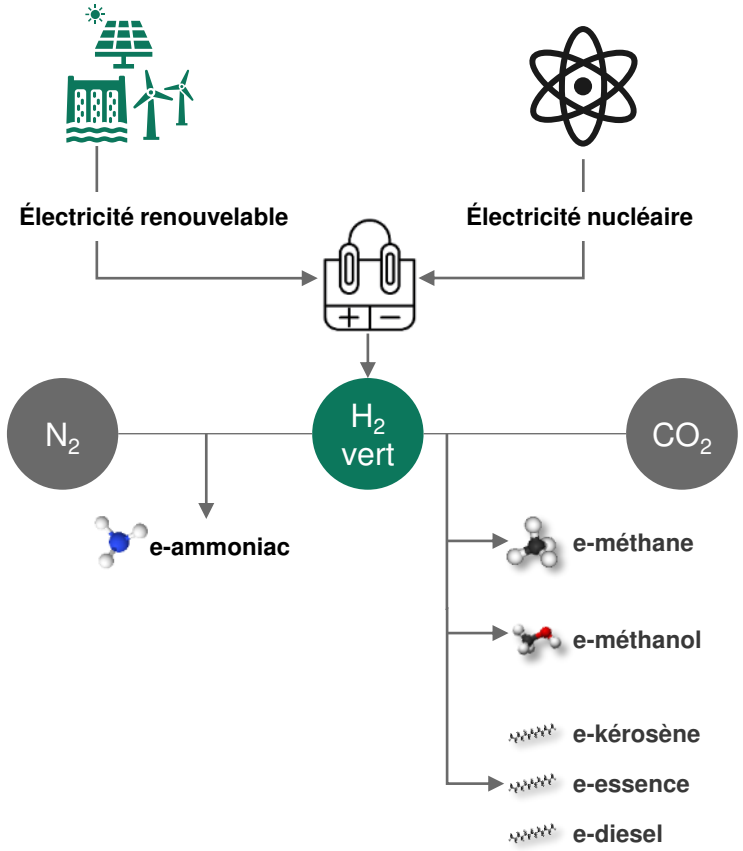
Introduction.

Contexte général

Eléments de définition

Ce panorama international donne un aperçu des dynamiques de filière et les enjeux de mobilisation de ressources pour six carburants de synthèse aux potentiels de marché prometteurs : **e-méthane, e-méthanol, e-kérosène, e-ammoniac, e-essence et l'e-diesel**. Les e-fuels sont obtenus à partir d'hydrogène, lui-même généré par électrolyse de l'eau alimentée par de **l'électricité décarbonée**, et **de carbone recyclé** provenant de l'industrie, la valorisation de bioénergies ou capté dans l'air. Ils s'affirment comme une solution de décarbonation cruciale d'intrants industriels et des mobilités lourdes et complémentaires à l'électrification des usages.

Voies de synthèse des e-fuels



e-méthane

- Injection dans les réseaux de gaz et incorporation avec le biométhane pour décarboner les usages gaziers
- Liquéfaction en e-GNL* pour le transport routier, ferroviaire et maritime pour augmenter sa densité d'énergie

e-méthanol

- Conversion en oléfines et en éthers, intrants bas-carbone pour l'industrie, la chimie et le raffinage
- Utilisation directe pour le transport maritime ou transformation en carburants paraffiniques pour l'aérien

e-kérosène

- SAF** permettant une décarbonation du transport aérien (dont e-bioSAF par injection d'hydrogène dans la production de biocarburants)
- Incorporation incrémentale dans les carburéacteurs conventionnels

e-ammoniac

- Utilisation pour la production d'engrais azotés, tels que l'urée et le sulfate d'ammonium et dans l'industrie chimique.
- Carburant dans certains types de moteurs ou remplacement du diesel.
- Vecteur énergétique

e-essence

- Généralement obtenu comme co-produit avec de l'e-kérosène (procédés Fischer–Tropsch ou methanol-to-jet)
- Utilisation possible pour le transport routier lourd ou léger (malgré l'existence de solutions de décarbonation alternatives).

e-diesel

- Généralement obtenu comme co-produit avec de l'e-kérosène (procédés Fischer–Tropsch ou methanol-to-jet)
- Utilisation possible pour le transport routier lourd ou léger (malgré l'existence de solutions de décarbonation alternatives).

** Gaz Naturel Liquéfié ** Sustainable Aviation Fuel (Carburants d'Aviation Durable) *** Sustainable Maritime Fuel (Carburant Maritime Durable)*

Rôle des e-fuels dans la transition énergétique

Les e-fuels constituent un complément nécessaire dans la boite à outil européenne pour atteindre les objectifs climatiques à court, moyen et long terme. Ils fournissent des **solutions de substitution pour les secteurs sans alternatives**. Leur développement ne doit pas tant à des technologies qui murissent, qu'à la sensibilisation accrue des clients et citoyens aux enjeux climatiques, à un cadre règlementaire favorable et à des initiatives volontaires des acteurs économiques. Vecteurs chimiques d'énergie électrique, ils permettent une **électrification indirecte des usages pour compléter l'amélioration de l'efficacité énergétique et l'électrification directe**.

Les e-fuels : des leviers de décarbonation dont la compétitivité reste à renforcer

TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

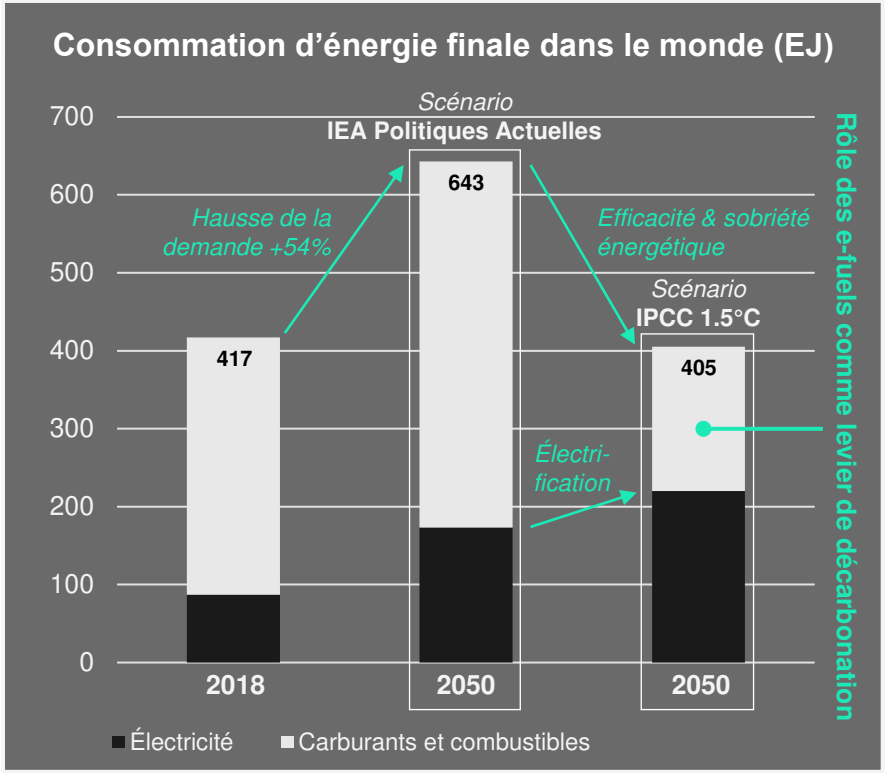
- Les e-fuels représentent une opportunité de décarboner les transports car ils sont bas-carbone et utilisables directement dans les moteurs à combustion interne existants.
- Le CO_2 émis lors de leur combustion est équivalent à celui capturé pour les produire. La comptabilité carbone dans le cas d'une capture industrielle fait cependant l'objet de discussions.

PRODUCTION LOCALISÉE DANS LES TERRITOIRES

- Le coût de revient des e-fuels est aujourd'hui 2 à 7 fois plus élevé en comparaison avec leurs équivalents fossiles.*
- La production des e-fuels permet des synergies industrielles en favorisant une économie circulaire entre les intrants et les co-produits de différents secteurs (acier, ciment, biomasse…).
- Ils bénéficient d'une meilleure performance que les accumulateurs électriques pour le stockage de longue durée et sont facilement transportables par les réseaux et les véhicules.

SIMPLICITÉ D'UTILISATON

- La distribution des e-fuels peut reposer sur les infrastructures de transport existantes et les usages ne nécessitent pas de modifications majeures pour avoir recours à ces produits.
- L'accélération du développement des procédés de synthèse et l'industrialisation de nouvelles technologies matures permettent la généralisation des e-fuels et le déploiement de solutions bas-carbone dans des secteurs sans alternatives comme le transport aérien ou maritime et diverses industries chimiques.



Les e-fuels ont un rôle majeur à jouer dans l'atteinte des objectifs climatiques. Leur développement peut constituer le 3ème pilier de la transition énergétique avec l'électrification et l'efficacité énergétique.

** Analyse Sia Partners*

Maturité des briques technologiques de production d'e-fuels

En fonction des procédés déployés, la maturité des différentes voies technologiques de synthèse est comprise **entre TRL4 et TRL9**. Les **procédés de fabrication des principaux e-fuels sont globalement matures mais leurs rendements sont en cours d'amélioration**. Certains e-fuels sont d'ores-et-déjà certifiés et incorporés dans l'industrie et les transports aérien, maritime et terrestre.

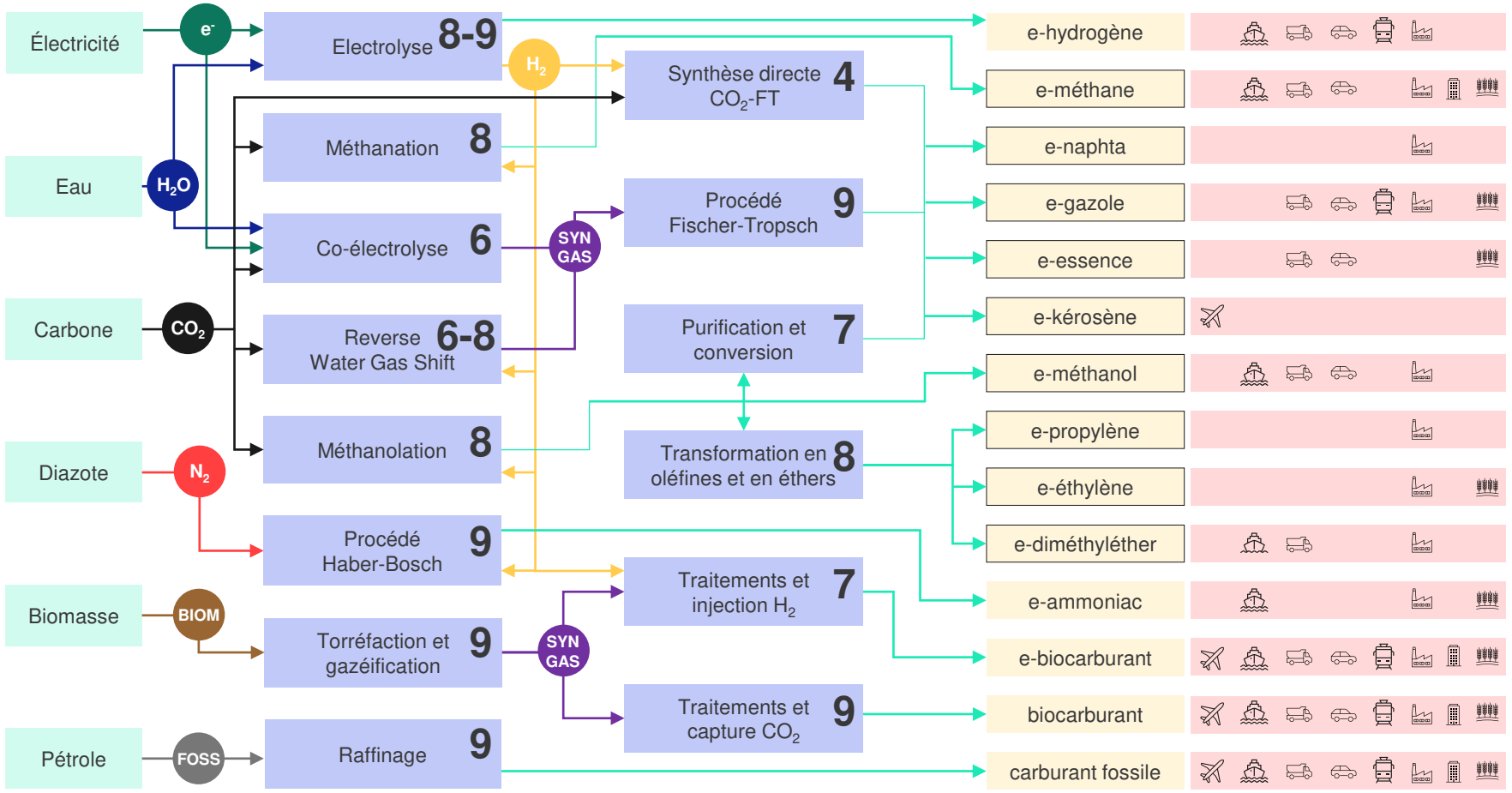
Maturité technologique des voies de synthèse
TRL 6-8

Légende

1 Observation du principe de base
2 Concept technologique
3 Preuve expérimentale
4 Validation en laboratoire
5 Validation en environnement réel
6 Démonstration en environnement réel
7 Démonstrateur opérationnel
8 Qualification d'un système complet
9 Système opérationnel

Aviation
Maritime
Routier lourd
Routier léger
Ferroviaire
Industrie
Résidentiel
Agriculture

Intrants
Procédés
Produits recyclant du CO_2
Autres produits
Usages



Une évolution de l'environnement technologique à anticiper

Les premiers sites de taille industrielle pourront mobiliser des briques technologiques d'ores et déjà maitrisées. **Au-delà de 2035, l'intégration de nouvelles technologies performantes permettra de renforcer le rendement énergétique des chaînes de valeur, tout en réduisant les contraintes liées à l'approvisionnement en intrant**. Le déploiement de ces solutions implique de poursuivre aujourd'hui les actions de R&D pour développer leur maturité.

2025 / 2035

Construction des premières usines de taille industrielle, par assemblage de briques technologiques maitrisées

Rendement énergétique atteignable : 45%

2035 / 2040

Intégration de nouvelles briques technologiques et optimisation de l'aménagement des sites

2040 / 2050

Amélioration incrémentale des briques technologiques les plus performantes et approche des rendements optimaux

Rendement énergétique atteignable : 55%

Exemples de technologies déployables au-delà de l'horizon 2035

Electrolyse Haute Température

Enjeux :

- **Améliorer le rendement des électrolyseurs** grâce à une valorisation de la chaleur fatale, provenant sites industriels ou de centrales thermiques : jusqu'à 90%, vs. 65-80% avec les technologies alcalines et PEM
- Réaliser une **co-électrolyse de l'eau et du CO_2 :** simplification de la chaîne des procédés et facilitation de la gestion de la logistique des intrants

TRL actuel : 6 (démonstration)

Pré-requis au déploiement :
Valorisation de chaleur fatale de sites industriels

Exemples d'acteurs positionnés :

GENVIA TOPSOE

Capture atmosphérique du CO_2 (DAC)

Enjeux :

- **Sécuriser sur le long terme un approvisionnement en CO_2**, dans un contexte de concurrence croissante entre porteurs de projets e-fuels pour le captage des sources de CO_2 biogénique
- **S'affranchir des problématiques de localisation** des sites de production d'e-fuels à proximité des sources de CO_2 ou des infrastructures de transport de CO_2

TRL actuel : 6 (démonstration)

Pré-requis au déploiement :
Foncier et électricité renouvelable disponible

Exemples d'acteurs positionnés :

climeworks Carbon Engineering

Source : Feuille de route vers la production d'e-carburant, *Académie des technologies, 2023 ;* A Techno-Economic Assessment of Fischer–Tropsch Fuels Based on Syngas from Co- Electrolysis, *Ralf Peters et al, 2022*

Partie 1 : Présentation des marchés selon les principales zones géographiques

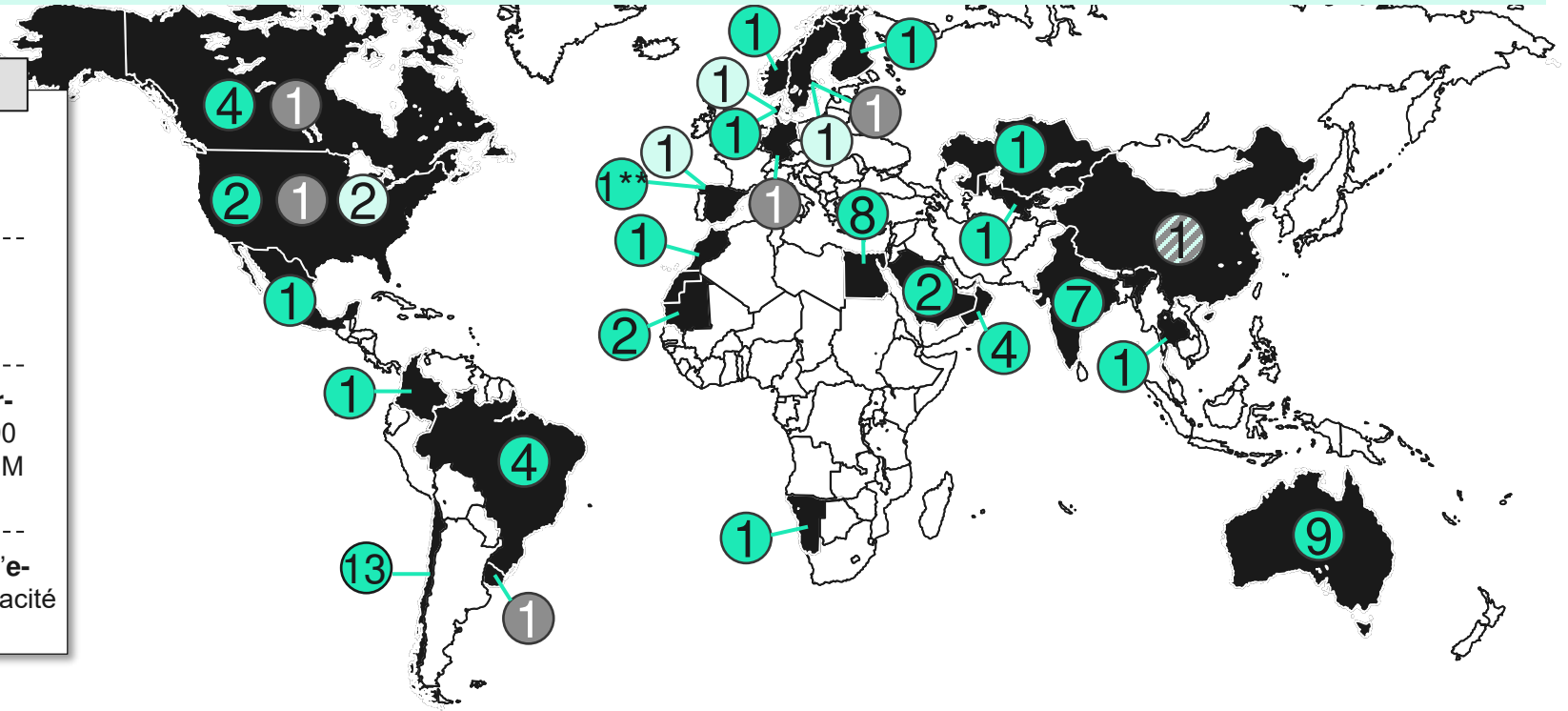
77 projets de tailles ≥200 ktep dans le monde : un témoignage de la maturité des briques technologiques et des fortes ambitions d'industrialisation des filières e-fuels

En janvier 2024, **77 projets de grande envergure (≥200 ktep) ont été annoncés sur tous les continents. 3 ont fait l'objet d'une décision finale d'investissement***. L'approvisionnement en électricité représente 50 à 75% du coût final des e-fuels. Ils se situent ainsi dans des zones pouvant bénéficier de faibles coûts d'accès à de l'électricité renouvelable (conditions climatiques favorables, faibles problématiques de foncier, réglementation accommodante).

Une grande partie des projets visent à une production d'e-ammoniac pour desservir les marchés mondiaux (50 des 77 projets), dont l'Europe, l'Amérique du Nord et des pays consommateurs d'Asie. **Les zones consommatrices restent cependant pionnières dans le développement de projets de grande envergure nécessitant une valorisation de carbone** (e-méthanol, e-kérosène), car elles conservent un avantage dans leur capacité à mobiliser ces ressources.

Typologie de projets de capacités ≥200 ktep/an

- 66 — projets de production d'**e-ammoniac** annoncés d'une capacité ≥500 kt/an
- 5 — projets de production d'**e-méthanol** annoncés d'une capacité ≥500 kt/an
- 5 — projets annoncés recourant au **procédé Fisher-Tropsch** pour la production d'**e-kérosène** (>190 kt/an), d'**e-diesel** et d'autres co-produits (≥180 M litres)
- 1 — projet hybride de production d'**e-méthanol et** d'**e-kérosène** (méthanol-to-jet) annoncé d'une capacité >200 ktep/an



** Projets avec FID : projet NEOM-ACWA Power-Air Products en Arabie Saoudite, projet e-biofuel de World Energy-Air products aux Etats-Unis ; projet EverWind Fuels aux Etats-Unis*

*** Projet e-ammoniac en Espagne (Ignis) : non inclus dans la fiche Espagne de la partie 2 car mise en service prévue au-delà de l'horizon 2030 (2031)*

Les filières d'e-fuels en Afrique

Un continent tourné vers les usages internes et les exportations

La production d'hydrogène renouvelable et ses applications suscitent un **engouement croissant** en Afrique. Ce développement pourrait permettre au continent de garantir un **accès à une énergie propre et durable**, tout en le propulsant en tant **qu'acteur majeur sur la scène mondiale de l'énergie**, grâce aux exportations d'hydrogène vert et de ses dérivés.

Facteurs clés de développement des filières e-fuels

- Production d'hydrogène vert à bas coûts tirant avantage d'un fort potentiel de production d'électricité renouvelable
- Potentiel d'exportation d'ammoniac vert considérable résultant du développement de projets de grande taille

Enjeux géopolitiques et commerciaux

- Lancement en mai 2022 de **l'Alliance africaine pour l'hydrogène vert** par le Kenya, l'Afrique du Sud, la Namibie, l'Égypte, le Maroc et la Mauritanie, visant à renforcer leur collaboration pour créer des conditions favorables au développement de projets hydrogène : harmonisation des cadres politiques et réglementaires ou recherche de solutions communes de financement
- Analyse conjointe de la Banque européenne d'investissement (BEI), de l'Alliance africaine et de l'Alliance solaire internationale révélant la **possibilité de produire de l'hydrogène vert à 2 €/kg en Afrique**, notamment grâce à l'exploitation efficace de l'énergie solaire, permettant de réduire la dépendance énergétique, d'aider à décarboner les économies locales, et d'exporter cette ressource et ses dérivés
- Identification par la BEI de **4 hubs africains pour l'exportation de d'hydrogène vert et de dérivés, bénéficiant de feuilles de route claires et exhaustives :** Mauritanie, Maroc, Égypte, Afrique australe et Égypte

Positionnement et projets e-fuels clés

- Principalement des projets de **grandes capacités[1]** ou de **tailles industrielles[2]** axés sur la production d'**e-ammoniac**, permettant d'utiliser l'important potentiel énergétique du continent
- **Projets principalement orientés vers l'exportation vers Europe et l'Asie et pour certains la demande intérieure**

5 principaux projets en termes de capacités de production

- *Projet Amun (NH_3)* — CWP GLOBAL
- *Projet Hyphen (NH_3)* — HYPHEN HYDROGEN ENERGY
- *Projet NH_3 dans la zone économique du canal de Suez* — OCIOR ENERGY
- *Projet NH_3 à Ain Sokhna* — AMEA POWER
- *Projet Nour (NH_3)* — CHARIOT TRANSITIONAL ENERGY, TotalEnergies

[1]Projets de grandes capacités : > 150 ktep [2]Projets de tailles industrielles : entre 50 et 150 ktep (analyse d'après bases de données de projets IEA)

Les filières d'e-fuels en Afrique

Politiques publiques dans une sélection de pays

Les politiques publiques sur l'hydrogène renouvelable et ses dérivés ont émergé comme des **stratégies clés pour le développement économique de plusieurs pays** d'Afrique, dont l'Égypte, le Maroc, la Mauritanie et la Namibie. Toutes convergent vers **l'exploitation des opportunités offertes par l'hydrogène vert et ses dérivés**, principalement **à des fins d'exportations.**

Égypte

- **Stratégie nationale de l'hydrogène** (2022) : S'emparer de 5 % du marché international d'ici à 2030 et 8 % d'ici 2040, avec la volonté de créer un centre d'exportation international pour l'hydrogène et ses dérivés
- **83 Mds$** mobilisés par le gouvernement égyptien dans des projets liés à l'hydrogène vert, à l'e-ammoniac et à l'e-méthane
- **Incitations fiscales** pour permettre aux entreprises actives dans la production, le stockage et l'exportation d'ammoniac et d'hydrogène renouvelables de déduire 30 à 50 % de leurs coûts d'investissement de leur facture fiscale

Maroc

- Stratégie nationale pour devenir leader mondial de l'hydrogène à horizon 2050. **Ambition d'abord axée sur le développement d'une filière nationale** d'hydrogène et d'ammoniac renouvelables répondant à des besoins domestiques. Vision d'exportations à partir de 2030
- **Création de conditions favorables à l'exportation** par la mise en œuvre du transport maritime de carburants synthétiques, le développement d'infrastructures portuaires, ainsi que le déploiement d'installations de production et de stockage, avec des investissements compris entre 13 et 95 Mds€, entre 2020 et 2050

Mauritanie

- Stratégie nationale sur l'hydrogène en cours de préparation par le gouvernement qui souhaite se positionner comme leader sur ce secteur
- Évaluation du **potentiel de la Mauritanie pour la production d'hydrogène vert d'ici 2035 à 12,5 Mt/an** (IRENA[1]), suffisant pour répondre aux besoins locaux et permettre des exportations vers les marchés internationaux
- Stratégie proactive pour le développement de projets d'hydrogène vert et de ses dérivés, concrétisée par la **signature d'accords avec des acteurs majeurs du secteur tels que CWP Global et Chariot**

Namibie

- **Stratégie hydrogène vert (2022)** : devenir un exportateur net d'énergie avec une production de 10 Mt/an à l'horizon 2050
- Annonce en 2023 de **l'élaboration d'une stratégie de développement de la filière des e-fuels** (Synthetic Fuels Act), visant à garantir leur compatibilité avec les normes internationales
- **Partenariat stratégique UE-Namibie** sur l'hydrogène vert marqué par un investissement de 1 Mds€ de l'UE pour améliorer les infrastructures logistiques du pays et faciliter l'exportation de l'hydrogène et de ses dérivés

[1]*IRENA : Agence internationale pour les énergies renouvelables*

Les filières d'e-fuels en Amérique du Nord

Grande région exportatrice aux ambitions de décarbonation

Les Etats-Unis et le Canada sont deux grandes économies productrices et exportatrices d'énergies fossiles, également elles-mêmes très intensives en carbone. **Elles ont donc un double enjeu de maintenir leur puissance en tant que grande exportatrice d'énergie et de produit fini, tout en accompagnant leur décarbonation à une échelle nationale.**

Facteurs clés de développement des filières e-fuels

- Un fort potentiel de production d'électricité renouvelable à bas coût
- Des stratégies de développement de l'hydrogène ambitieuses
- Grandes puissances exportatrices de carburants historiques

Enjeux géopolitiques et commerciaux

- Dilemme sur le maintien des soutiens pour la production et l'exportation d'hydrocarbures dont les recettes fiscales permettent d'investir dans la transition et pour lesquelles le coup d'abandon serait élevé.
- Plusieurs projets de **production d'hydrogène bleu visant à valoriser les ressources en gaz naturel**
- Attentes fortes d'une production de carburants alternatifs domestiques pour **décarboner les secteurs des transports et de l'industrie**, notamment : Sustainable Aviation Grand Challenge aux Etats-Unis (9,4Mtep/an de CAD en 3030) et Règlement sur les combustibles propres au Canada (réduction de 15% de l'intensité carbone d'ici 2030).
- **Filières e-fuels vues comme potentielles substituts aux exportations actuelles d'hydrocarbures**. Ex : Projet Sempra Infrastructure développé par Tokyo Gas, Osaka Gas, Toho Gas et Mitsubishi Corporation pour la production d'e-méthane sur la côte du Golfe à destination du Japon. Le volume de production visé pour 2030 est de 130 kt/an.

Positionnement et projets e-fuels clés

- Projets de **toutes tailles**[1], avec plusieurs projets de grandes tailles (13 projets à +100 ktep/an) concernant principalement une production d'**e-méthanol** (28%), d'**e-kérosène** (18%) et **e-ammoniac** (39%)
- **+10 projets de carburants électro-bio sourcés**

5 principaux projets en termes de capacités de production

- *Matagorda (e-méthanol)* — HIF
- *Projet Bear Head Energy (NH_3)* — Bear Head Energy
- *Projet Paramount (e-kérosène)* — Air Products, World Energy
- *Imperial Ren. Diesel (e-diesel)* — Imperial
- *Projet Burin Peninsula (NH_3)* — Everwind Fuels

[1] *Analyse sur la base d'un recensement exhaustif de projets par Sia Partners*

Les filières d'e-fuels en Amérique du Nord

Politiques publiques au Canada et aux Etats-Unis

Les Etats-Unis ont un objectif de réduction de leurs émissions de 50-52% et le Canada de 40% d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 2005. Ils ont publié une **stratégie de l'hydrogène** (respectivement en 2023 et 2020) qui identifie les **secteurs stratégiques** et les possibilités de déploiement. L'objectif est de **stimuler les investissements** dans la production et l'utilisation.

Etats-Unis

Politiques générales de décarbonation

Industrial Decarbonization Roadmap (Sept 2022) : Efforts concentrés sur les sur **5 industries** les plus émettrices de CO_2 (raffinage, chimie, fer et acier, ciment, aliments et boissons). **4 piliers** : rendement énergétique, électrification industrielle, fuels et énergie bas carbone et solutions CCUS.

Sustainable Aviation Grand Challenge (Sept 2021) : **9,4 Mtep/an** de CAD, dont des e-fuels, en **2030**, avec un objectif de long terme de **100 % de CAD** dans le mix énergétique du secteur en **2050** soit **110 Mtep/an**

Plusieurs mesures sont en faveur de l'hydrogène bleu et vert :

- **Infrastructure Investment and Jobs Act (Nov 2021) : 7 Mds$** pour des Hubs hydrogène régionaux dédiés à la décarbonation des secteur difficiles à décarboner.
- **Inflation Reduction Act (Août 2022)** : Crédit d'impôt pour encourager le déploiement d'une production nationale d'hydrogène propre et jusqu'à 250 Mds$ de garanties de prêts à des projets de revalorisation d'infrastructures énergétiques permettant de réduire, utiliser ou séquestrer les GES.

Canada

Politiques générales de décarbonation

Règlement sur les combustibles propres (2022) : mesures incitatives favorisant **l'adoption de combustibles propres**. Exige des fournisseurs la réduction de progressive de l'intensité carbone de l'essence et du diesel d'environ 15% d'ici 2030 (par rapport aux niveaux de 2016).

- **Clean Fuel Fund (2021)** : Fond de **1,13 Mrd$** pour soutenir la production nationale et l'adoption de combustibles à faible intensité carbone.
- **SIF Net-Zero Accelerator (2021)** : Fond de **6,1 Mrd$** pour accélérer les projets de décarbonation des grands émetteurs et la transformation industrielle du secteur de l'énergie.
- **Crédits d'impôts pour une économie durable et propre (2023)** : **60 Mrd$** pour promouvoir les technologies d'énergie verte et les infrastructures associées au travers de l'instauration de crédits d'impôts à l'investissement dans l'électricité, les technologies et l'hydrogène propres.

Les filières d'e-fuels en Amérique du Sud

Un potentiel majeur exploité de manière inégale

Plusieurs pays d'Amérique du Sud mettent en œuvre des stratégies de développement et planifient de grandes infrastructures pour produire l'hydrogène renouvelable et des e-fuels. **Les niveaux d'engagement par pays restent inégaux**. Les e-fuels participeront à réduire les émissions de gaz à effet de serre, tout en ouvrant des perspectives commerciales.

Facteurs clés de développement des filières e-fuels

- Mise en place progressive d'une règlementation harmonisée et cohérente
- Potentiels d'exportations substantielles de certains pays vers les marchés nord-américains, asiatiques et européens

Enjeux géopolitiques et commerciaux

- Volonté partagée par plusieurs pays d'Amérique du Sud pour utiliser l'hydrogène renouvelable et ses dérivés pour **renforcer la sécurité énergétique, décarboner l'économie et accélérer la croissance économique de la région, par le biais d'exportations**.
- Capacité des trois pays leaders, le Chili, la Colombie et le Brésil à produire un fort excédent d'hydrogène par rapport à leur consommation nationale, en raison d'un accès à bas-coûts aux énergies renouvelables, dévoilant ainsi un potentiel significatif d'exportation d'hydrogène renouvelable et de ses dérivés vers les principaux marchés internationaux
- **Volonté d'alignement des mécanismes de certification et de la réglementation sur l'hydrogène renouvelable et ses dérivés**, au travers des organisations régionales comme H2LAC1, pour éviter que chaque pays ne progresse de manière isolée, facilitant ainsi le développement d'un marché intégré et la future commercialisation.

[1] *Plateforme de coopération pour le développement de l'hydrogène vert en Amérique Latine et dans les Caraïbes*

Positionnement et projets e-fuels clés

- Projets de **toutes tailles**[2], localisés au Brésil et au Chili pour les plus importants d'entre eux, principalement axés sur la production d'**e-ammoniac**
- Projets axés sur la **demande intérieure ou** l'**exportation vers les marchés nord-américains, européens et asiatiques**

5 principaux projets en termes de capacités de production

- *Projet Green Energy Park à Piaui (NH_3)* — green energy Park
- *Projet dans la ZPE Ceará (NH_3)* — pecém INDUSTRIAL AND PORT COMPLEX
- *Projet H2 Magallanes (NH_3)* — TOTAL, eren
- *Projet Solatio à Piaui (NH_3)* — SOLATIO GD
- *Projet Faraday (NH_3)* — AKER CLEAN HYDROGEN, MAINSTREAM RENEWABLE POWER

[2] *Analyse d'après bases de données de projets IEA*

Les filières d'e-fuels en Amérique du Sud

Politiques publiques dans une sélection de pays

La **Colombie est très avancée politiquement** dans le domaine des dérivés de l'hydrogène, s'intéressant fortement au potentiel des e-fuels et se fixant des objectifs ambitieux. Le **Chili commence à préciser son approche** politique sur les e-fuels, tandis que le **Brésil se focalise sur la production d'hydrogène décarboné**, sans vision claire pour le développement de filières de production d'e-fuels.

Brésil

- **Lancement en 2021 des lignes directrices du programme national sur l'hydrogène**, visant à développer ce secteur pour répondre aux besoins du marché domestique et en vue de futures exportations
- Approche brésilienne pour le développement de l'hydrogène à faible teneur en carbone qui ne définit **pas d'objectifs de capacité spécifique** mais qui se concentre sur l'amélioration et le **renforcement du cadre juridique et réglementaire** et sur la suppression des obstacles pour favoriser le développement du marché
- Engagement du gouvernement en faveur de l'hydrogène en matière de R&D depuis plus de 20 ans (1 % du total des dépenses de R&D sur l'énergie de 1999 à 2018), devenu une thématique d'investissement prioritaire en 2021, appuyant l'instauration d'un environnement propice aux innovations technologiques liées à l'hydrogène vert

Chili

- **Stratégie nationale sur l'hydrogène vert (2020)** : produire l'hydrogène renouvelable le moins cher de la planète d'ici à 2030 et disposer d'une capacité d'électrolyse de 5 GW d'ici 2025
- Stratégie visant à **construire une industrie d'exportation**, en capitalisant sur la richesse du pays en matière d'énergies renouvelables qui permet d'accéder à l'électricité à un coût quasi nul, contribuant à générer des revenus de 2,5 Mds$/an dès 2025
- Volonté de **combiner des investissements de fonds publics et privés** dans l'hydrogène renouvelable et ses produits dérivés, qui pourraient atteindre 45 Mds$ d'ici 2030 et 330 Mds$ d'ici 2050
- Ouverture d'une **consultation publique sur un nouveau plan d'action pour l'hydrogène vert et ses dérivés** entre 2023 et 2030, mentionnant des investissements massifs et d'autres mesures de soutien, notamment au niveau fiscal

Colombie

- Conception d'une **stratégie englobant l'hydrogène renouvelable et ses dérivés**, visant à poursuivre la décarbonisation tout en stimulant le développement économique
- Objectif de développer entre 1 et 3 GW d'électrolyse et de produire au moins **50 kt d'hydrogène bleu à l'horizon 2030**
- 40 % (740 kt) de la production totale d'hydrogène en 2050 prévue pour alimenter la production de dérivés à faibles émissions
- Usage de l'e-ammoniac envisagé dans la production d'engrais au niveau local et dans le remplacement des combustibles fossiles dans le transport maritime à une échelle internationale
- **Volonté de nouer des partenariats commerciaux bilatéraux** avec les pays importateurs, notamment avec l'Allemagne, pour se positionner comme un acteur clé du marché mondial

Les filières d'e-fuels en Asie (hors Moyen-Orient)

Une mosaïque de politiques émergentes

De nombreux pays d'Asie affirme un objectif de long terme de neutralité carbone et reconnaissent l'importance de l'hydrogène vert et de ses dérivés. Cependant, une **diversité au niveau des approches stratégiques** est observable, reflétant le potentiel émergent d'une minorité de pays en matière d'adoption et d'exportation à grande échelle des e-fuels.

Facteurs clés de développement des filières e-fuels

- Nécessité pour les pays asiatiques d'accélérer leur transition énergétique et de répondre à une demande croissante en énergie, stimulant le développement de la filière des e-fuels
- Expansion rapide des énergies renouvelables

Enjeux géopolitiques et commerciaux

- Engagement significatif de nombreux pays asiatiques (Inde, Malaisie, Japon, Corée du Sud, Chine, etc) à atteindre des objectifs ambitieux en matière de neutralité carbone
- **Région enregistrant la croissance la plus rapide en termes de demande énergétique et d'expansion des énergies renouvelables**, présentant ainsi un marché potentiel important pour l'hydrogène vert et ses dérivés
- Enjeux cruciaux **d'indépendance énergétique** sur un continent en pleine croissance
- Développement par certains pays d'une **production domestique** pour répondre à leur demande, comme l'Inde, la Malaisie, l'Indonésie ou la Chine. Concentration d'autres pays sur la **sécurisation des approvisionnements à bas coûts**, à l'image du Japon et de la Corée du Sud multipliant les investissements à l'étranger.

Positionnement et projets e-fuels clés

- Projets de **toutes tailles**[1] répartis dans de nombreux pays et **essentiellement axés sur l'e-ammoniac**, à l'exception d'un grand projet chinois de production d'e-méthanol et d'e-kérosène
- Projets orientés vers un **usage domestique**, mais pouvant donner lieu à des exportations pour les plus importants

5 principaux projets en termes de capacités de production

Projet Hyrasia One (NH_3) — Hyrasia

Projet Tata Steel Economic zone (NH_3) — ACME Leading Through Innovation

Projet Green Hydrogen du Karnataka (NH_3) — ACME Leading Through Innovation

Projet NH_3 en Thaïlande — ACWA POWER, EGAT, ptt

Projet e-SAF et e-méthanol à Qiqihaer — SPIC

[1] *Analyse d'après bases de données de projets IEA*

Les filières d'e-fuels en Asie (hors Moyen-Orient)

Politiques publiques dans une sélection de pays

L'Inde, l'Indonésie et la Malaisie partagent l'objectif commun **de développer des capacités substantielles de production d'hydrogène vert et de ses dérivés**, avec l'intention d'accélérer leur décarbonation, de répondre à la demande domestique, et d'exporter sur le marché mondial. La Chine, malgré sa forte ambition hydrogène, ne mentionne pas explicitement le potentiel des e-fuels dans sa stratégie nationale.

Inde

- Ambition nationale de devenir un centre de production d'hydrogène vert avec **une capacité de production d'au moins 5 Mt/an et une capacité d'électrolyse de 15 GW d'ici 2030**
- Engagement du gouvernement indien à promouvoir l'adoption de l'hydrogène vert dans l'industrie en augmentant la capacité des énergies renouvelables, notamment solaire, et en déployant un fonds incitatif de 2,3 Mds$, distribués entre 2022 et 2030
- Utilisation prévue de l'hydrogène pour la production **d'ammoniac vert visant à la fabrication de fertilisants,** et d'autres e-fuels destinés à servir de carburants
- **Soutien de la Banque Européenne d'Investissement** de 1 Mds€ pour le déploiement de l'hydrogène vert en Inde, passant aussi par la mise en place d'un mécanisme de crédit avec le gouvernement indien

Indonésie

- **Feuille de route sur l'hydrogène (2023)** : utiliser l'hydrogène vert et l'ammoniac dans la perspective d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2060, de répondre à la demande domestique croissante en énergie, et d'exporter de l'hydrogène renouvelable et ses dérivés sur le marché mondial
- 25,2 Mds$ d'investissements privés attendus par le gouvernement indonésien pour développer l'hydrogène vert jusqu'en 2060
- **Pertamina**, compagnie pétrolière et gazière publique, impliquée dans le développement de l'hydrogène et de l'ammoniac bleu et vert avec des investissements prévus de 12 Mds$ d'ici 2026
- Signature d'un accord entre l'entreprise publique indonésienne d'électricité, **Persero, et HDF Energy** pour développer des projets combinant la production d'énergie renouvelable et d'hydrogène vert sur site

Malaisie

- **Feuille de route nationale sur l'hydrogène (2023)** : éliminer l'utilisation de l'hydrogène gris et produire jusqu'à 2,5 Mt/an d'hydrogène vert d'ici à 2050
- Objectif ambitieux de devenir un pays leader en matière d'économie de l'hydrogène, avec des recettes prévues de plus de 85 Mds$ d'ici à 2050
- Environ 1 Mds$ d'investissement promis par le gouvernement entre 2024 et 2030 pour accélérer le développement des énergies renouvelables, la production d'hydrogène vert et les solutions d'utilisation de l'hydrogène
- **Chine, Japon, Corée du Sud et Singapour envisagés comme les principaux marchés d'exportation de l'hydrogène et de l'ammoniac renouvelable produit par la Malaisie**

Les filières d'e-fuels en Europe

Des politiques de contrainte sur la demande et d'industrialisation de l'offre

L'Europe a intégré l'hydrogène et les e-fuels comme des leviers clés de ses stratégies de réindustrialisation et de décarbonation de long terme. Des limites à une production domestique apparaissent cependant (dont coûts et acceptabilité de projets EnR). **La stratégie européenne vise donc tout autant le développement de filières domestiques et des importations.**

Facteurs clés de développement des filières e-fuels

- Un cadre réglementaire visant au développement d'une consommation domestique
- Présence d'acteurs mondiaux représentatifs de l'ensemble de la chaîne de valeur des e-fuels

Enjeux géopolitiques et commerciaux

- **Attentes fortes d'une production domestique** pour développer de **nouvelles activités industrielles** et **réduire la balance commerciale énergétique de l'Union européenne**, déficitaire de 650 M€ en 2022
- Pour autant, des **perspectives d'importation massives** depuis des pays pouvant produire de l'hydrogène et des e-fuels à bas coûts :
  - **Importation d'e-fuels pour un usage direct** à des fins de décarbonation des secteurs du transport et de l'industrie
  - Importation d'e-ammoniac, comme **vecteurs de transport d'hydrogène**, récupéré après livraison
  - **Importation d'hydrogène** pouvant être combiné avec du carbone en Europe pour la production d'e-méthanol ou d'e-kérosène
- **Multiplication des accords commerciaux** ces dernières années : 22 accords concernant l'hydrogène et les e-fuels au 31/12/2023 (recensement Sia Partners)
- **Mécanisme d'ajustement carbone aux frontières** mis en place en 2026 sur les importations d'hydrogène et d'engrais azotés, dont l'ammoniac est un intrant, afin de limiter les pertes de compétitivité liées à un marché carbone de l'UE renforcé

Positionnement et projets e-fuels clés

- **Projets de toutes tailles**[1], visant à l'expérimentation de nouvelles technologies et à des déploiements industriels de moyennes et grandes dimensions, pour l'ensemble des e-fuels (e-méthanol, e-kérosène, d'e-ammoniac)
- **Projets tournés vers une consommation européenne**

5 principaux projets en termes de capacités de production

Projet AIR (e-méthanol) — Perstorp, fortum, nature energy, uniper

Prod. e-kérosène avec éolien en mer — st1, VATTENFALL

Décarbonation flottes (e-méthanol) — MAERSK

Projet NH_3 à Narvik — AKER HORIZONS, Statkraft

Projet Megaton (e-méthanol) — greengo energy

[1] *Analyse d'après bases de données de projets IEA et recensement exhaustif de projets par Sia Partners sur 4 pays européens*

Les filières d'e-fuels en Europe

Politiques publiques dans une sélection de pays

La stratégie publique de l'Union Européenne se distingue du reste du monde par l'**adoption de cibles contraignantes et ambitieuses pour le développement d'e-fuels dans certains secteurs**. Elle se caractérise aussi par un **soutien à des importations**, via notamment la banque hydrogène. Les montants mis en jeu sont conséquents, dans une **logique de compétition avec l'Amérique du Nord et la Chine.**

Norvège

- Priorisation de la stratégie nationale hydrogène 2022 de l'utilisation de l'hydrogène bas carbone (bleu ou électrolytique) pour la **décarbonation de deux secteurs : les industries intensives en énergie et le maritime**, où l'hydrogène pourrait être utilisé directement ou sous forme d'**e-ammoniac**
- **En 2022, soutien public de 47 M€ à des projets hydrogène et e-ammoniac dans le secteur maritime**, sur un total de 177 M€ pour l'ensemble des projets hydrogène (*Source : RIFS Postdam, juin 2022)*

Royaume-Uni

- Ambition d'installer une capacité de 10 GW d'hydrogène bas carbone (bleu ou électrolytique) **d'ici 2030**, dont **5 GW de capacité d'électrolyse de l'eau**, sous réserve d'abordabilité et de « *value for money* »
- Mécanisme certification de l'hydrogène bas carbone attendu pour 2025
- **Soutiens via des fonds dédiés à des projets** de production d'hydrogène bas carbone ou en lien avec le développement de nouveaux usages de l'hydrogène et de ses dérivés, notamment dans l'aviation et le maritime (exemple : éligibilité de projets e-fuels dans des fonds de soutien à la décarbonation du secteur maritime représentant 110 M£ pour l'année 2023)
- **Texte législatif attendu en 2024 fixant des obligations d'incorporation d'e-fuels dans le mix énergétique du secteur aérien à partir de 2030**

Union Européenne

- REPowerEU : une **stratégie européenne visant à produire 10 Mt d'hydrogène renouvelable et à en importer 10 Mt à horizon 2030**, en réponse à la crise gazière née du conflit russo-ukrainien
- **Objectifs d'incorporation croissante des e-fuels renouvelable ou décarboné dans les consommations énergétiques de certains secteurs :**
  - **Industrie :** 42% de l'hydrogène utilisé dans l'industrie devra être d'origine renouvelable d'ici 2030 et 60% d'ici 2035 (directive RED III)
  - **Maritime :** 2% de RFNBO (hydrogène et e-fuels renouvelables) dans le secteur maritime d'ici 2035 si la valeur de 1% n'est pas atteinte en 2031. Ne concerne que les navires d'un tonnage brut supérieur à 5 000 tonnes. (règlement FuelEu Maritime)
  - **Aviation :** Intégration dans l'offre des fournisseurs de carburants d'aviation de carburants de synthèse (hydrogène renouvelable et e-fuels à faible intensité carbone) (règlement RefuelEU) *Voir focus à la suite*
- **Financements publics par des fonds européens**, via notamment une banque hydrogène dotée d'un budget de 3 Mds€ provenant de l'Innovation Fund pour développer une production domestique et des importations. Soutiens également du programme Horizon Europe pour le développement de technologies.
- **Soutiens complémentaires apportés par les Etat membres** (exemple : enveloppe totale de soutien à la filière hydrogène de 9 Mds€ en France)

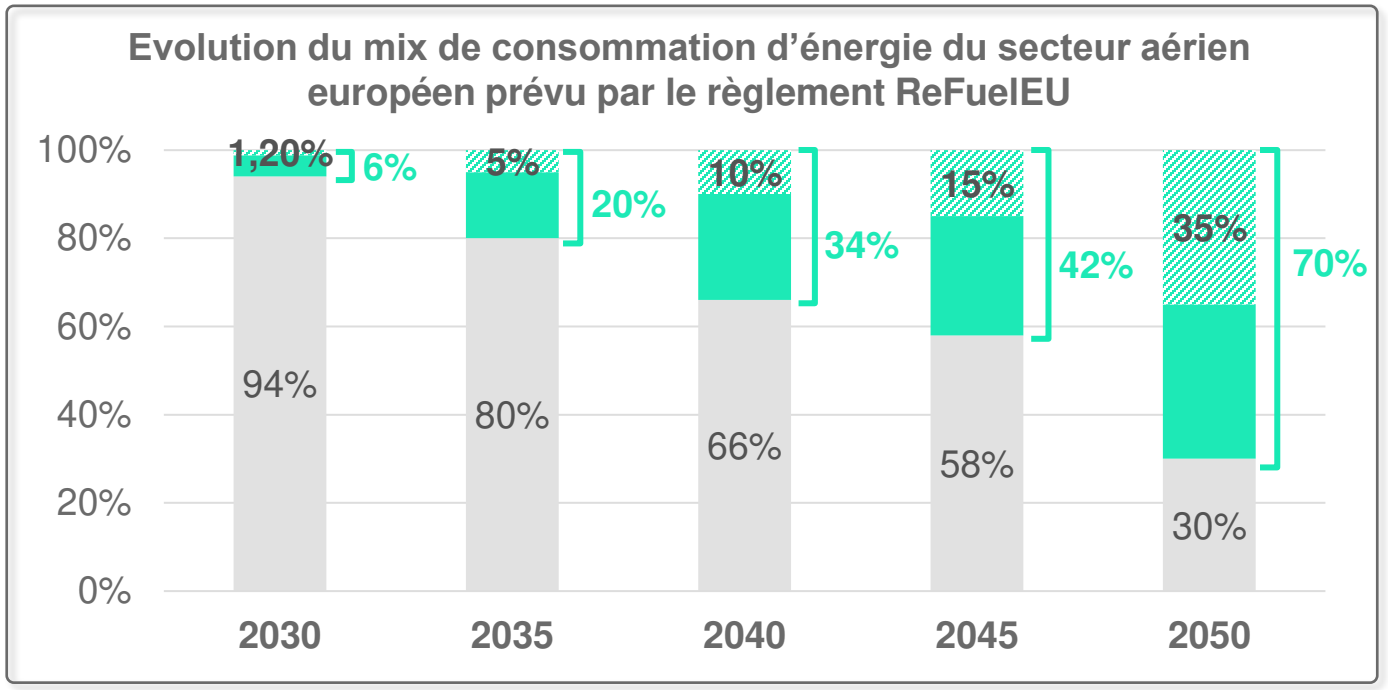
Les filières d'e-fuels en Europe

Focus sur les objectifs de ReFuelEU

Le règlement européen ReFuelEU adopté en octobre 2023 impose aux distributeurs de carburants d'aviation une incorporation progressive de carburants synthétiques (e-fuels ou hydrogène) produits à partir d'électricité renouvelable ou décarboné. Il légitime ainsi indirectement la participation de l'électricité nucléaire à l'atteinte des objectifs de décarbonation du secteur de l'aviation.

Le règlement contraint également les avions à s'approvisionner dans les aéroports européens à hauteur de 90% de ce qui est requis chaque année, au nom de motifs de renforcement d'efficacité énergétique.

En supposant un trafic aérien constant et l'absence de gain d'efficacité énergétique, la réalisation des cibles de ReFuelEU signifierait une demande en e-kérosène de 960 millions de litres (797 ktep) en 2030 et 4 milliards de litres (3 320 ktep) en 2035*.



** Besoins en volume de consommation : estimation Sia Partners sur la base de données AIE (publication* Oil 2023*)*

Les filières d'e-fuels au Moyen-Orient

Une quête de leadership portée par des investissements massifs

Des pays du Moyen-Orient nourrissent de fortes ambitions pour le développement de l'hydrogène décarboné et de ses dérivés, avec de grands plans d'investissements pour **se positionner comme leaders sur ces marchés émergents**. Ces initiatives s'inscrivent dans des objectifs de décarbonation et de **diversification des exportations**.

Facteurs clés de développement des filières e-fuels

- Capacité d'investissement d'acteurs publics historiquement positionnées dans les secteurs pétrolier et gazier
- Savoir-faire et infrastructures liés aux secteurs pétrolier et gazier en partie réutilisables

Enjeux géopolitiques et commerciaux

- **Potentiel élevé de production d'hydrogène décarboné et d'hydrogène bleu,** capable de couvrir plus de 11% de la demande mondiale en 2050 en exploitant une capacité significative de génération d'énergies renouvelables dans la région (World Economic Forum)
- **Investissements massifs des États** (Arabie Saoudite, Émirats arabes unis, Oman) **et des grandes entreprises publiques** (Aramco, OQ, etc) dans la production d'hydrogène renouvelable et bleu, visant à générer des revenus de substitution aux énergies fossiles
- **Position géographique stratégique** du Moyen-Orient pour répondre à une part significative de la demande mondiale d'hydrogène, en particulier sur les marchés européen et asiatique, en exploitant les infrastructures pétrolières et gazières existantes

Positionnement et projets e-fuels clés

- Projets de de **grandes capacités**[1] ou de **tailles industrielles**[2] portés par les investissements **d'entreprises publiques des pays du Golfe**, axés sur la production d'**e-ammoniac**
- Projets principalement tournés vers les **exportations, ciblant les marchés asiatiques et européens**

5 principaux projets en termes de capacités de production

Projet Neom$_1$ (NH_3) — ACWA POWER, AIR PRODUCTS, NEOM

Projet NH_3 à Duqm — ACME Leading Through Innovation, YARA, Scatec

Projet Neom$_2$ (NH_3) — KEPCO

Projet HYPORT Duqm (NH_3) — POSCO, ENGIE, OQ

Projet Brooge Energy (NH_3) — BPGIC

[1] *Projets de tailles industrielles : entre 50 et 150 ktep* [2] *Projets de grandes capacités : > 150 ktep (analyse d'après bases de données de projets IEA)*

Les filières d'e-fuels au Moyen-Orient

Politiques publiques dans une sélection de pays

Plusieurs pays du Golfe aspirent à devenir des acteurs majeurs dans la production d'hydrogène bas carbone, affichant des ambitions nationales élevées pour des exportations futures. **Les formes privilégiées de ces exportations restent imprécises**. Seuls les **Émirats arabes unis** explicitent dans leur **stratégie nationale le recours à l'ammoniac** à grande échelle comme vecteur de transport d'hydrogène.

Arabie Saoudite

- **Détermination de l'Arabie saoudite à se positionner comme fournisseur mondial d'hydrogène**, en privilégiant la production à partir de gaz naturel associée aux technologies de capture de CO2, ou encore la production issue d'énergies renouvelables, dans le but d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2060 et de diversifier ses exportations
- Annonce par le gouvernement saoudien d'un objectif de **36 Mds$ d'investissements pour produire 2,9 Mt/an d'hydrogène bas carbone** d'ici 2030
- **Signature d'un accord entre la société japonaise JERA et le Fonds d'investissement public d'Arabie saoudite** visant à promouvoir le développement de l'hydrogène renouvelable et de ses dérivés, notamment l'ammoniac, en vue d'exportations futures

Émirats arabes unis

- **Feuille de route stratégique** : devenir le premier producteur mondial d'hydrogène à faible teneur en carbone d'ici 2031, avec une production d'au moins 1,4 Mt/an. Exportations de 4,8 à 9,6 Mt/an d'hydrogène d'ici à 2050, débutant par la commercialisation de ses dérivés
- Soutien des pouvoirs publics visant notamment à fournir des options de financement durable à faible taux d'intérêt pour les projets liés à l'hydrogène et à ses dérivés
- Réflexion autour de **l'idée d'un prix de marché fixe pour l'hydrogène entre 2026 et 2028**, notamment pour aider au développement de clusters de l'hydrogène destinés à favoriser le développement de l'ensemble de la chaîne de valeur

Oman

- Déploiement d'une **stratégie nationale, coordonnée par l'entité gouvernementale indépendante Hydrom,** pour produire au moins 1,15 Mt/an d'hydrogène vert d'ici 2030, 3,75 Mt/an d'ici 2040 et 8,5 Mt/an d'ici 2050
- **140 Mds$ d'investissements** prévus par le gouvernement pour développer l'économie de l'hydrogène vert d'ici 2050
- **50 000 km^2 de terrains mis à disposition**, avec des incitations offertes pour attirer les projets de production d'hydrogène vert et de ses dérivés, telles que des droits fonciers réduits à 0,05 $/m^2, et pouvant même être gratuits pendant les phases de développement
- Annonce de plusieurs projets axés sur l'hydrogène et l'ammoniac renouvelable, comprenant notamment un projet ambitieux à grande échelle de 25 GW porté par l'entreprise publique pétrolière et gazière d'Oman, OQ

Les filières d'e-fuels en Océanie

Une politique tournée vers la collaboration internationale

L'Australie et la Nouvelle-Zélande nourrissent des **ambitions nationales, voire mondiales** pour le premier, en matière d'hydrogène vert, et misent principalement sur des **partenariats internationaux** pour développer les applications de cette ressource. La région promeut une approche harmonisée en ce qui concerne les politiques et les normes liées à l'hydrogène.

Facteurs clés de développement des filières e-fuels

- Fortes capacités de production d'électricité renouvelable à bas coût
- Stratégie de partenariats internationaux présentant une dimension technologique et commerciale

Enjeux géopolitiques et commerciaux

- Utilisation de l'hydrogène et de ses dérivés considérée par l'Australie et la Nouvelle-Zélande comme un des moyens pour atteindre leurs **objectifs de neutralité carbone en 2050** et stimuler leur **développement économique :** mobilisation prévue des filières hydrogène pour des usages domestiques, notamment la production de fertilisants, ou pour structurer de nouvelles filières exportatrices
- **Importantes capacités de production d'électricité renouvelable** mobilisable pour la fabrication d'hydrogène propre et de ses dérivés
- Elaboration par le gouvernement australien d'un **système de certification et du cadre législatif correspondant afin de de soutenir un système d'échange d'hydrogène propre à l'échelle internationale**
- Développement de **partenariats internationaux**, notamment avec les pays asiatiques et européens, pour une meilleure **collaboration technologique** et le développement du **commerce de l'hydrogène et de ses dérivés**

Positionnement et projets e-fuels clés

- **Projets de toutes tailles[1], concentrés en Australie**, et essentiellement **axés sur la production d'e-ammoniac**
- Projets destinés à faire progresser l'Australie sur le chemin de la **neutralité carbone**, en intégrant une **dimension exportatrice**

5 principaux projets en termes de capacités de production

Projet H2-Hub Gladstone (NH_3)
Iwatani, Keppel, Kansai Electric Power (power with heart), Marubeni, Stanwell

Projet H2Perth (NH_3)
Woodside

Projet Western Green Energy Hub (NH_3)
InterContinental Energy, Mirning, CWP Global

Projet AREH (NH_3)
CWP Global

Projet AMP (NH3)
amp, Iron Road

[1] *Analyse d'après bases de données de projets IEA*

Les filières d'e-fuels en Océanie

Politiques publiques en Australie

L'Australie investit massivement dans sa stratégie visant à produire de l'hydrogène renouvelable, avec pour objectifs **d'améliorer sa sécurité énergétique** et de **développer sa capacité à exporter cette ressource**. Cependant, le gouvernement australien adopte une position neutre à l'égard quant aux modalités d'exportation de l'hydrogène et des vecteurs utilisés.

Vision stratégique pour le développement de l'hydrogène propre

- Publication d'une nouvelle version de la stratégie nationale sur l'hydrogène en 2023 afin d'assurer une position de leader mondial dans ce secteur d'ici 2030
- Effort du gouvernement pour accroître la demande et réduire les coûts de livraison de l'hydrogène, avec pour **objectif prioritaire de parvenir à une production d'hydrogène propre à 1,2 $/kg d'ici 2030**, par valorisation d'énergies renouvelables ou recourant à de la valorisation de ressources fossiles combinées à des solutions de capture du CO2
- Volonté du gouvernement australien d'attirer des investissements privés pour développer l'hydrogène renouvelable, avec un volume de projets représentant des montants évalués à 300 milliards de dollars australiens, qui seraient dirigés tant sur l'utilisation domestique que les exportations

Partenariats internationaux dans le domaine de l'hydrogène

- **Accord autour de l'hydrogène et de ses dérivés produits à partir de sources d'énergie renouvelables conclu avec l'Allemagne**, à des fins commerciales
- **Partenariat avec le Japon** visant à faire progresser la coopération technologique dans les domaines de l'hydrogène et de l'ammoniac propre
- **Coopération commerciale avec la Corée du Sud** pour garantir un approvisionnement en hydrogène et en ammoniac propre
- **Partenariat de 30 M$ avec Singapour** pour accélérer le développement et le déploiement de carburants à faibles émissions, incluant l'hydrogène et ses dérivés

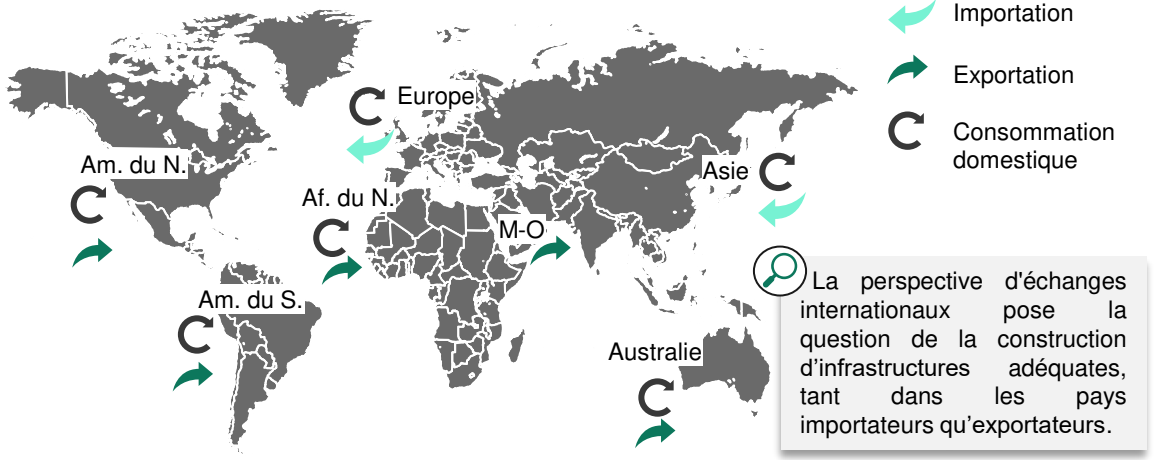
Absence de feuilles de route spécifiques aux filières e-fuels

- **Absence de mesures de soutien public dédiées à la filière e-fuel**
- **Premier pays à expérimenter le transport d'hydrogène liquide par bateau vers le Japon**, interrogeant ainsi sur les moyens d'exportation de la production nationale d'hydrogène à long terme

Une dynamique mondiale esquissant une réorganisation des échanges internationaux d'énergie

Si seuls 3 des 77 projets de taille ≥200 ktep recensés ont fait l'objet d'une décision finale d'investissement*, les dynamiques à l'œuvre préfigurent le développement d'une nouvelle géographie de l'énergie, mais qui doit être confirmée au vu des incertitudes sur l'évolution de l'environnement de marché.

Marchés visés



Des modalités de soutien public diverses

Soutien aux CAPEX (ex : Innovation Fund européen), **crédits d'impôts** (ex : Etats-Unis, Canada), mise à disposition de **foncier** (ex : Oman), planification du développement d'**infrastructures** d'exportation (ex : Maroc), **réglementation sur la demande en carburant** (ex : Europe)

Des acteurs moteurs variés

Pure players H2/e-fuels, développeurs de projets EnR, grands énergéticiens historiques, producteurs de gaz industriels ou **grands consommateurs de carburants fossiles** cherchant à décarboner leur chaînes d'approvisionnement (ex : armateurs)

Différentes visions des enjeux de décarbonation

Un **droit européen précis sur la définition des RFNBO**** devant participer à la décarbonation de certains secteurs, et susceptible d'imposer des standards aux pays exportateurs, qui fixe également un **cadre à la production d'e-fuels décarboné**.
Ambition assumée d'une production d'e-fuels avec de l'hydrogène bleu par d'autres zones géographiques (Amérique du Nord, Colombie, Indonésie, …)

Des échanges internationaux centrés sur l'e-ammoniac

66 projets de production d'**e-ammoniac** annoncés d'une capacité ≥500 kt/an, dont 50 hors Europe et Amérique du Nord

Les zones propices à la production d'électricité renouvelable à bas coûts ne disposent pas toutes d'un accès aisé à du CO2. La plupart des grands projets se concentrent ainsi sur la production d'e-ammoniac, ne nécessitant pas d'apport en carbone.

Des enjeux pour sécuriser l'offre en e-fuels incorporant du carbone en Europe

- **L'Europe s'est fixée des cibles ambitieuses de développement d'une consommation d'hydrogène et d'e-fuels pour la décarbonation de son industrie et de ses transports**. Elle pourrait en cela devenir en 2030 le premier marché mondial des e-fuels.
- **Peu de projets visent à ce jour l'exportation d'e-méthanol et d'e-kérosène vers l'Europe**
- Si l'Europe porte de nombreux projets de production d'e-méthanol et d'e-kérosène, peu d'entre eux ont fait l'objectif d'une FID*. (voir détails en Partie 2). **Un risque de pénurie de certains e-fuels n'est donc à exclure aux horizons 2030 / 2035.**

** Décision finale d'investissement (FID) : Décision de signature des contrats engageants et de lancement de la phase de construction du projet*
*** RFNBO : Renewable Fuel of Non Biological Origin. Produits énergétiques comprenant des e-fuels valorisation de l'hydrogène renouvelable*

Partie 2 : Etat des lieux des dynamiques par pays

Critères de sélection des pays étudiés en détail

1 Préférence donnée à des pays d'Europe et d'Amérique du Nord

Focalisation sur des pays comparables à la France

- Pays se projetant à court terme comme producteurs et consommateurs d'e-fuels et éventuellement importateurs
- Objectifs publics ambitieux de décarbonation des économies à court et long terme
- Points communs dans les systèmes politiques et les structures économiques

2 Mise en avant des pays avec les dynamiques les plus fortes

Nombre et capacité des projets de production d'e-fuels

Potentiel de développement importants

- Fort potentiel de mobilisation d'électricité décarboné
- Pays moteurs dans le développement et l'industrialisation de technologies liées à la chaîne de valeur des e-fuels
- Politiques de soutien significatives
- …

Danemark
- 14 projets – 1 229 ktep/an

Espagne
- 13 projets – 1 292 ktep/an

Suède
- 8 projets – 472 ktep/an

Canada
- 19 projets – 2953 ktep/an

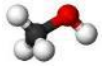
Etats-Unis
- 21 projets – 2372 ktep/an

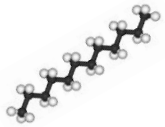
Avertissements de lecture

Cette étude couvre les molécules **d'e-méthane, le e-méthanol, le e-kérosène, l'e-ammoniac, le e-diesel et l'e-essence**, dont le **contenu énergétique est d'origine électrique décarboné**. **Nos travaux n'inclus pas les projets n'ayant pas abouti ainsi que les projets de démonstrateurs clôturés. Pour des raisons de confidentialité, seuls les projets annoncés publiquement ont été comptabilisés.**

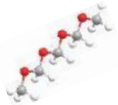
Molécules étudiées

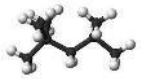
e-méthane


e-méthanol


e-kérosène

e-ammoniac


e-diesel


e-essence

Calcul des indicateurs

Données d'entrée

Les **capacités de production sont calculées à partir des volumes de production annoncés** par les porteurs de projet. Nous ne prenons pas en compte les projets cartographiés ne communiquant pas leurs cibles de production dans les calculs. Les **autres indicateurs sont constitués à partir de nos propres calculs**, sur la base des **hypothèses présentées en annexe**.

Rendement

Le calcul des besoins en électricité se base sur un **rendement énergétique de l'ensemble de la chaîne de valeur de 45% en 2030**. Des perspectives d'évolutions technologiques permettant d'atteindre des rendements de 55% à terme.

Co-produits

Lors de sa production via un procédé Fischer-Tropsch ou methanol-to-jet, l'e-kérosène est accompagné de co-produits valorisables. **Nous considérons dans nos calculs de rendements que l'ensemble des co-produits sont valorisés et ne faisant pas porter au e-kérosène le poids des besoins nécessaire pour la synthèse des co-produits**.

Prise en compte de la contribution aux filières biocarburants

Périmètre retenu pour les calculs

e-fuels strictement électro-sourcés

Carburant et combustibles dont le contenu énergétique est d'origine électrique bas-carbone et provient exclusivement d'hydrogène produit par électrolyse de l'eau et de carbone non sourcé directement dans la biomasse.

Part électro-sourcée des e-biofuels

Volume énergétique d'origine électrique bas-carbone inclus dans les biocarburants enrichis à l'hydrogène, correspondant à la part d'énergie finale des e-biocarburants issue de l'injection d'hydrogène produit par électrolyse de l'eau.

Hors périmètre

Part bio-sourcée des e-biofuels

Volume énergétique d'origine biologique inclus dans les biocarburants enrichis à l'hydrogène, correspondant à la part d'énergie finale des e-biocarburants issue de la gazéification de la biomasse.

Partie 2.

Etat des lieux des dynamiques dans une sélection de pays

Europe

Fiche Danemark

Focus Danemark – Contexte général

Depuis 1997, la production de **pétrole et gaz est un moteur** pour l'économie danoise. Pourtant le gouvernement vote en 2020 la sortie progressive des énergies fossiles. Depuis 2000, on observe l'augmentation de la part de **l'éolien et des bioénergies** dans le mix énergétique, composé à 83% de sources renouvelables. Aujourd'hui, le pays présente une **stratégie de l'hydrogène vert** et des **technologies PtX**, et s'appuie sur une chaîne de valeur structurée composée d'acteurs à tous les échelons, actifs dans la R&D et la commercialisation, ainsi que de consommateurs du secteur des transports. La filière est soutenue par des financements étatiques.

Soutien et politiques publics

Energy Technology Development and Demonstration Programme – EUDP (2007)* : programme de subvention annuel destiné aux acteurs développant de nouvelles technologies de production d'énergie verte. 1 200 projets subventionnés pour un montant de 830 M€ depuis 2007.

Climate Agreement for Energy and Industry (2020) : Fond de 2,15 Mds€ pour financer des projets et solutions CCUS.

IPCEI* Hydrogen – Danemark (2021)***: sélection de 2 projets e-fuels par le parlement Danois pour les financements IPCEI européen : Green Fuel for Denmark (86 M€) et Greenlab Skive (10,7M€).

Research Reserve du Fond d'innovation (2021-2023)** : allocation annuelle de soutien financier pour des projets de recherche. Depuis 2021, 38 M€ fléchés chaque année sur le programme MissionGreenFuels qui œuvre pour l'incorporation des fuels verts dans le secteur des transports et de l'industrie.

Power-to-X 2030 (2022)** : Stratégie visant à faire évoluer le cadre réglementaire, promouvoir le développement des infrastructures et l'exportation de produits et technologies liés à l'hydrogène vert et aux e-fuels. Le Danemark fixe l'objectif d'installation de 4 à 6 GW de capacités d'électrolyse d'ici 2030.

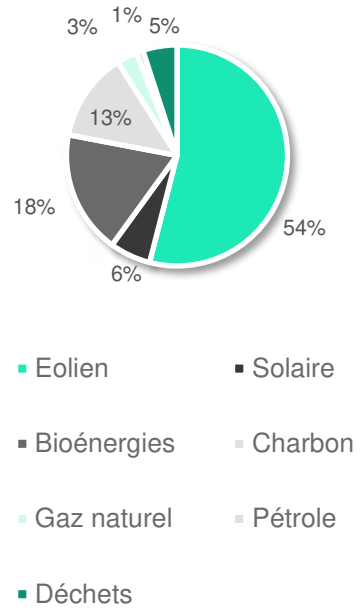
Appel d'offre du Ministère du Climat et de l'Energie (2023)** : 170 M€ de subvention sur 10 ans pour promouvoir les technologies Power-to-X, destinés à toute entreprise souhaitant construire de nouveaux électrolyseurs au Danemark.

-70% de GES émis
d'ici 2030 par rapport à 1990

4 à 6 GW d'ici 2030
De capacité d'électrolyse installées

2,5 Mds€ de subventions
pour promouvoir les projets H_2 et PtX

Mix énergétique de l'électricité au Danemark (IEA, 2022)



** IPCEI : Projets Importants d'Intérêt Européen Commun ; ** Stratégie danoise pour le Power-to-X ; ***Commission Européenne*

Focus Danemark – Tableau de bord des indicateurs 2030

Capacités totales projetées en 2030

1229 ktep/an

01 Capacité de production des projets en construction ou en activité

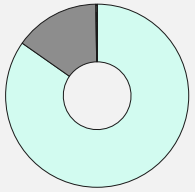
19 ktep / an

02 Capacité de production des projets avec FID

0 ktep / an

03 Capacité de production des projets à l'étude

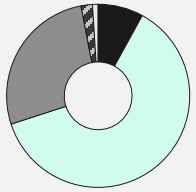
1 210 ktep / an



04 Besoin en électricité

34 TWh / an*

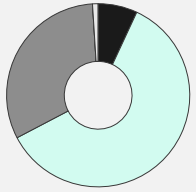
29 TWh : électrolyse de l'eau
5 TWh : synthèse des e-fuels



05 Besoin en carbone

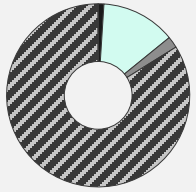
3 $MtCO_2$ / an

À capturer dans la biomasse ou l'industrie



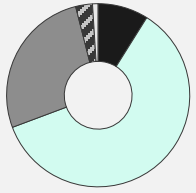
06 Besoin hydrique (eau consommée)

7,1 Mm^3 / an

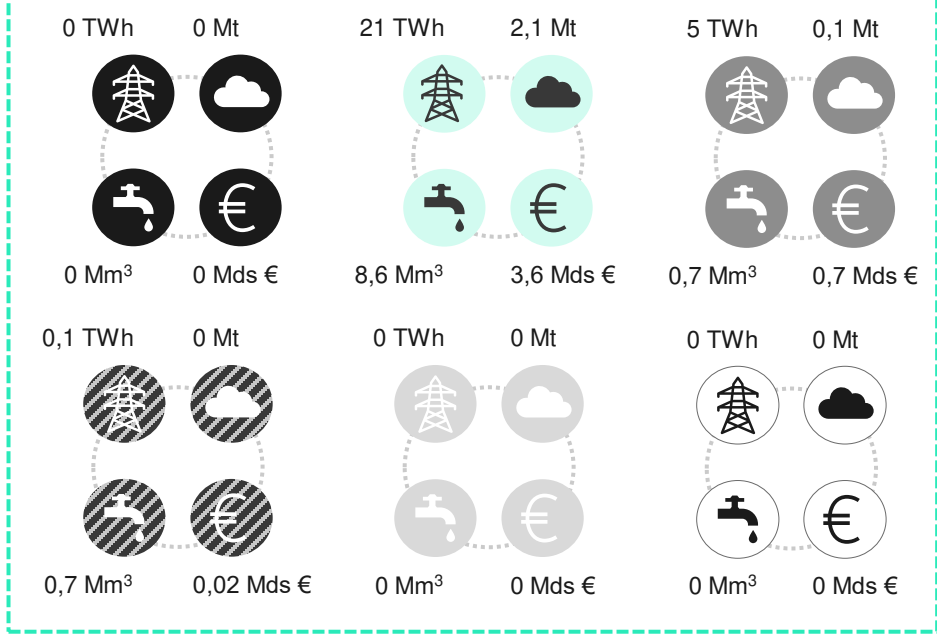


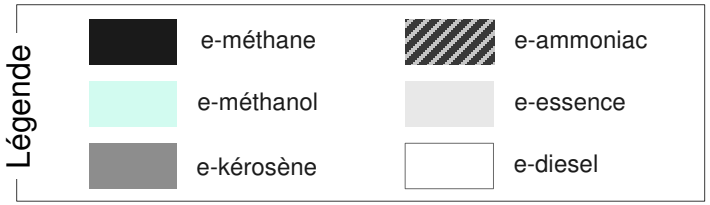
07 Besoin en financement

86,6 Mds DKK
Soit 11,6 Mds €



Quantités de ressources à mobiliser par molécule / an

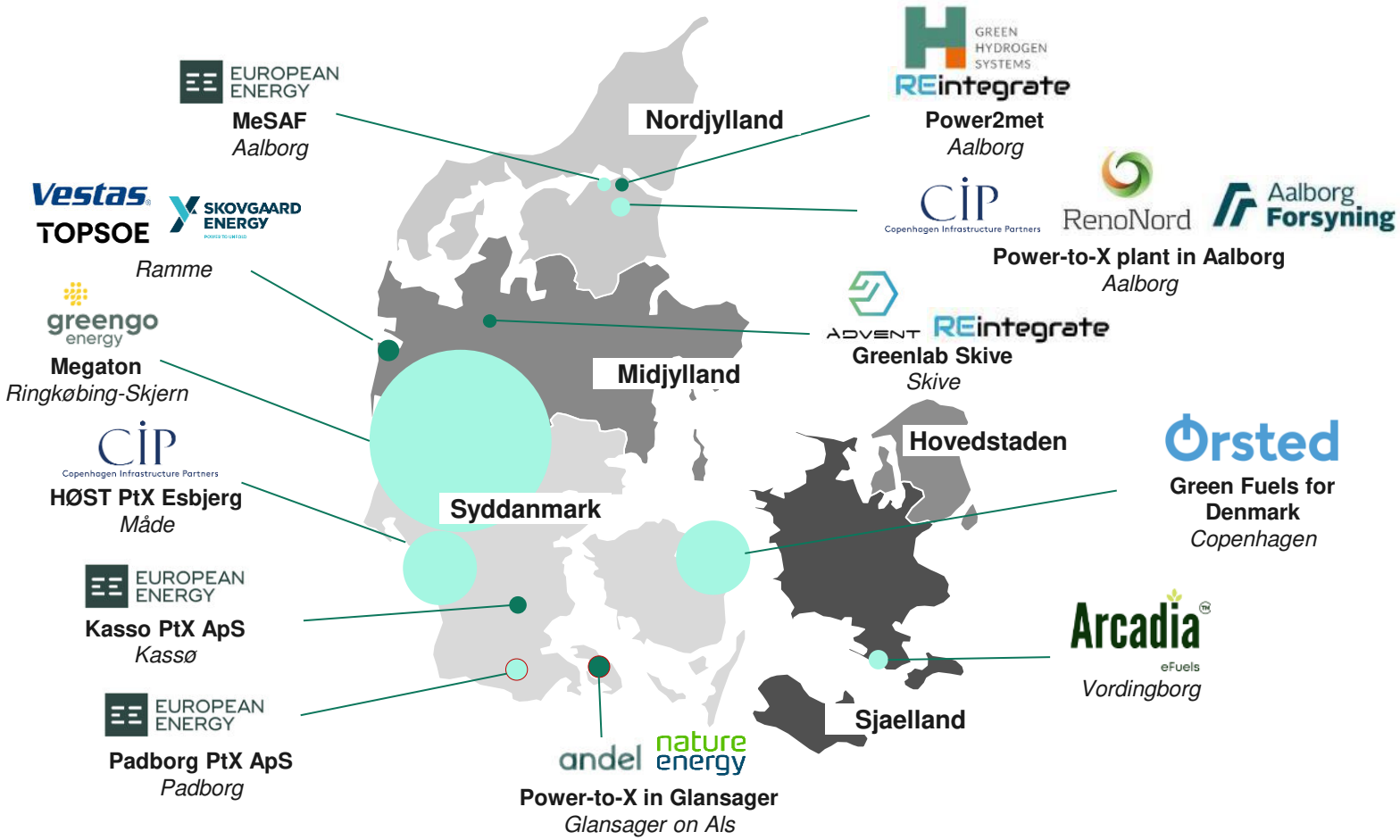




* Besoins en électricité : pour un rendement énergétique de l'ensemble de la chaîne de valeur de 45% en 2030. **Perspectives d'évolutions technologiques permettant d'atteindre des rendements de 55% à terme.**

Focus Danemark – Vue d'ensemble des projets annoncés publiquement

Nous recensons **14 projets** au Danemark. Les projets sont à divers stade d'avancement, avec un nombre notable de projets ayant atteint une FID: **1 projet est en activité, 3 en construction et 10 à l'étude.** Nous pouvons mentionner **aussi 3 projets démonstrateurs menés par Electrochaea désormais arrêtés**. Parmi ces projets, 3 portés par Nature Energy, Andel, European Energy et le port de Hanstholm ne communiquent pas encore les capacités de production envisagées. Les régions de Midjylland et Syddanmark sont particulièrement dynamiques avec 3 et 4 projets chacune, dont ceux représentant les plus importantes capacités.



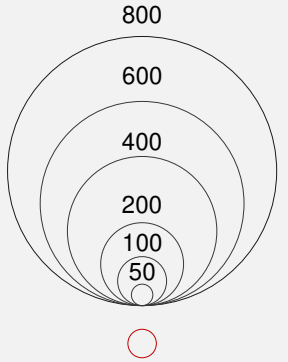
2 projets dont la localisation n'a pas été annoncée

metafuels
EUROPEAN ENERGY
PORT OF HANSTHOLM
EUROPEAN ENERGY

Projets en construction ou en activité

Projets avec FID

Projets annoncés



Capacités de production actuelles ou prévues des projets (ktep/an)

Capacités de production non annoncées

Focus Danemark – Acteurs

Le Danemark dispose d'une base industrielle solide avec **une expertise dans l'ingénierie, la fabrication et le développement de projets.** Ces derniers sont majoritairement **portés par de nouveaux pure players ou acteurs e-fuels plus diversifiés** (Reintegrate, Metafuels, Arcadia Fuels, European Energy, Skovagaard Energy). Les acteurs historiques (Andel, Orsted) sont moins présents en comparaison. **European Energy** est particulièrement actif dans le pays avec un portefeuille diversifié entre parcs éoliens, solaires et d'installation de production d'e-fuels.

01. Construit et/ ou actif

Power2met 2021 e-méthanol	**Greenlab Skive** 2024 e-méthane	**Kasso PtX ApS** 2024 e-méthanol
Vestas / TOPSOE / Skovgaard Energy 2024 e-ammoniac	**Skive PtX** 2022 e-méthanol	

02. Financé

03. À l'étude

MeSAF 2024 e-méthanol	**Green Fuel for Denmark** 2025 e-méthanol	**Padborg PtX ApS** Inconnu Inconnu	**HØST PtX Esbjerg** 2028-2029 e-ammoniac	**PtX in Aalborg** 2028 e-methanol
metafuels / European Energy Inconnu e-méthanol	**Endor** Arcadia eFuels 2026 e-kérosène	**Megaton** greengo energy Inconnu e-méthanol	Port of Hanstholm / European Energy Inconnu e-méthanol	

Focus Danemark – Capacité de production d'e-fuels • Sur la base des projets annoncés

Sur l'ensemble des projets répertoriés à date, la production est estimée à **1 229 ktep/an d'ici 2030**. Au total, **1 projet est en activité, 3 en construction et 10 au stade de l'étude**. Les perspectives de mises en service se concentrent sur 2030. Néanmoins le projet le plus important en termes de capacités, porté par **GreenGo Energy (660 ktep), ne précise pas d'année de mise en service**. Nous comptons 3 autres projets ne mentionnant pas cette information et portés par European Energy, l'un à Padborg, l'autre au port d'Hanstholm et le dernier en collaboration avec Metafuels.

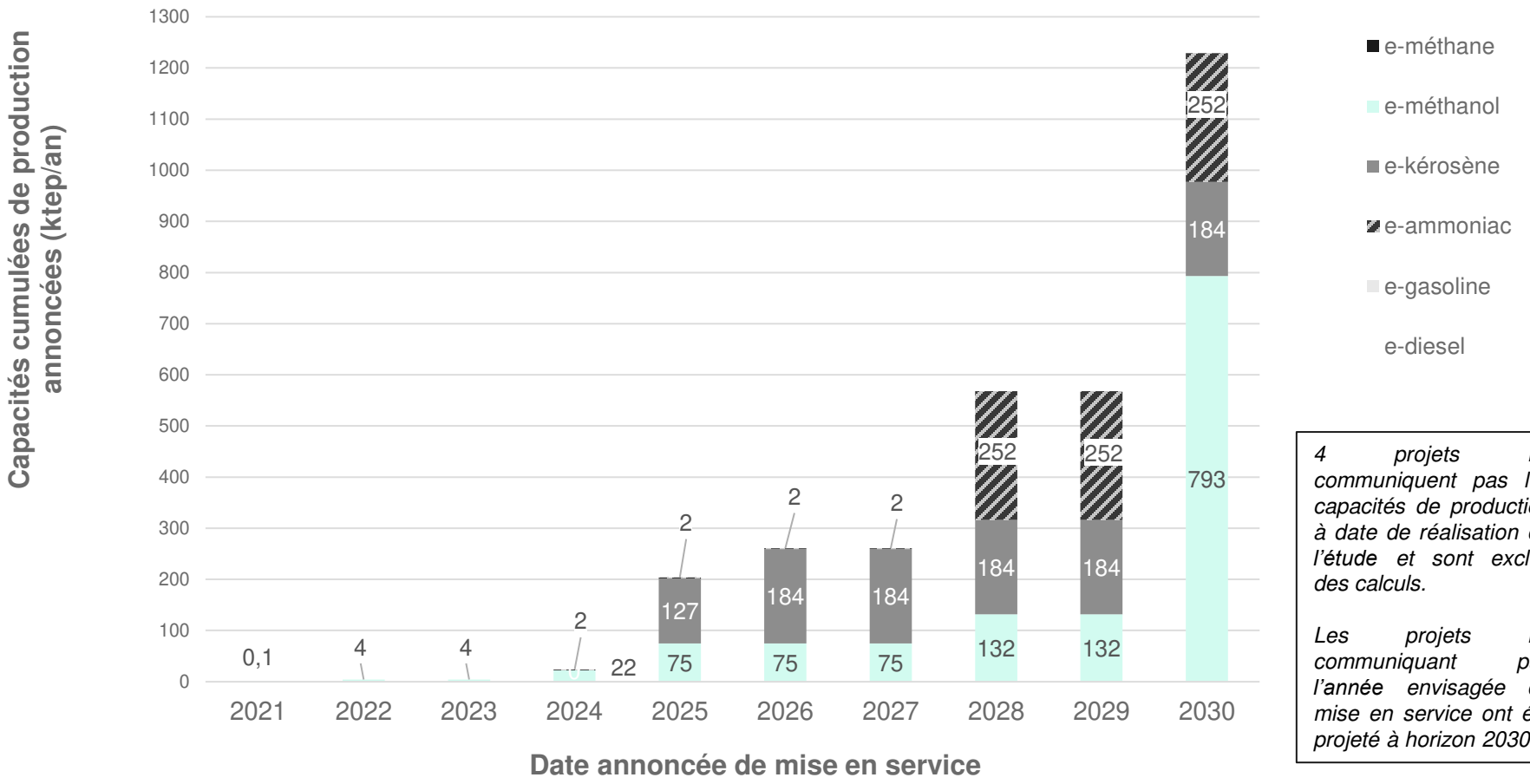
Indicateurs

01 • **Capacités actives / En construction :**
19 ktep/an

02 • **Projets avec FID :**
0 ktep/an

03 • **Projets à l'étude :**
1 210 ktep/an

	Capacité de production (ktep/an)	Nombre de projets
e-méthane	0	1
e-méthanol	793	9
e-kérosène	184	1
e-ammoniac	252	3
e-essence	0	0
e-diesel	0	0
Total	**1 229**	**14**



4 projets ne communiquent pas les capacités de production à date de réalisation de l'étude et sont exclus des calculs.

Les projets ne communiquant pas l'année envisagée de mise en service ont été projeté à horizon 2030.

Focus Danemark – Besoins en électricité

● Sur la base des projets annoncés

Le Danemark a fait évoluer son mix électrique vers **l'éolien (54% du mix électrique) et les bioénergies (18%)**. Le Danemark figure à la 3ème place du classement des Etats européens dont les **réseaux électriques sont les plus stables** (CEER). Cette performance est rendue possible grâce aux **importations** et aux **centrales à biomasse**, permettant de compenser la production éolienne intermittente. Un **plan gouvernemental** prévoit la **conversion à la biomasse des centrales à charbon**, qui conservent néanmoins un rôle, notamment lors des sécheresse impactant la production hydroélectrique de Norvège et la Suède, et donc les importations.

Indicateurs

04 ●

Besoin électrique des projets prévus

34 TWh / an

Remarques sur la lecture de l'indicateur

- 29 TWh : électrolyse de l'eau
- 5 TWh : synthèse des e-fuels

Besoins pour un rendement énergétique de la chaîne de valeur de 45% en 2030. ***Perspectives d'évolutions technologiques permettant d'atteindre 55% à terme.***

Besoin électrique régionaux (TWh / an)

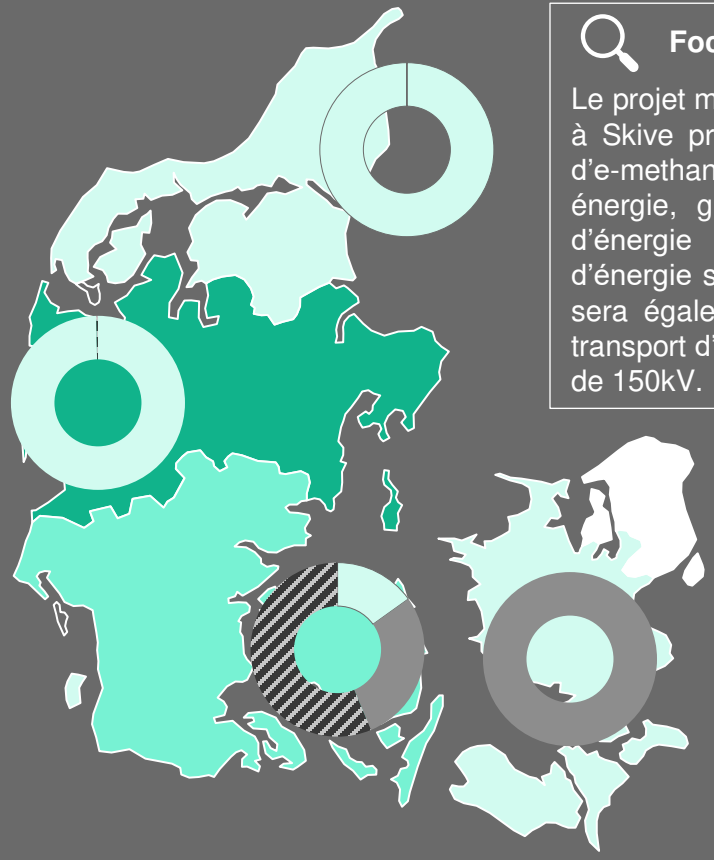
- 0
-] 0 ; 5]
-] 5 ; 10]
-] 10 ; 15]
-] 15 ; 20]
- > 20

Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

Fournir 34 TWh d'électricité décarboné pour la filière des e-fuels sera un défi dans un pays qui n'en a produit que 21 TWh en 2022*. Le Danemark dispose toutefois d'un potentiel d'expansion de son parc, en particulier en Mer du Nord (17-27 GW selon l'Agence Danoise de l'Energie). Deux îles ont déjà été désignées pour produire 5 GW d'électricité éolienne, et 3 GW font l'objet d'appel d'offres.

Cependant le mix électrique repose à 60% sur des énergies intermittentes (solaire et éolien) et le pays est dépendant des importations de la Norvège pour équilibrer son réseau. Or, les électrolyseurs nécessitent un haut facteur de charge en continu pour sécuriser les modèles d'affaires (>90%). Une production via énergie éolienne ou solaire pourrait donc être combinée avec du stockage d'électricité sur batterie.



Focus sur un projet :

Le projet mené par Reintegrate et Advent à Skive prévoit de produire 3,4 ktep/an d'e-methanol. Le site générera sa propre énergie, grâce à un parc de 54 MW d'énergie éolienne et de 26 MW d'énergie solaire. En complément, le site sera également raccordé au réseau de transport d'électricité avec une connexion de 150kV.

** IEA*

Focus Danemark – Besoins carbone

Sur la base des projets annoncés

En 2022, les émissions de CO_2 du Danemark ont atteint **29,1 Mt**. Les principaux secteurs émetteurs sont les transports (28%), suivi de l'agriculture (23%) et de la production d'électricité (19%)*. **Les procédés industriels ne représentent que 4% des émissions totales.** Les **efforts réalisés dans le secteur énergétique**, avec une réduction des émissions de plus de moitié depuis 2005, a considérablement contribué à la réduction des émissions totales. Le **gouvernement prévoit aussi de stimuler la production d'énergie renouvelable, les technologies de capture et d'utilisation du carbone ainsi que de large projets Power to X.**

Indicateurs

05

Besoin carbone des projets prévus

3 Mt / an

Remarques sur la lecture de l'indicateur

Le carbone est utilisé comme intrant, avec de l'hydrogène, pour la synthèse du e-méthane, de l'e-méthanol, l'e-kérosène, l'e-diesel et l'e-essence. La production d'e-ammoniac, ainsi que la part électro-sourcée des e-biofuels, ne comprend pas d'utilisation de carbone.

Besoin carbone régionaux (kt / an)

- 0
-] 0 ; 500]
-] 500 ; 1000]
-] 1000 ; 1500]
-] 1500 ; 2000]
- > 2000

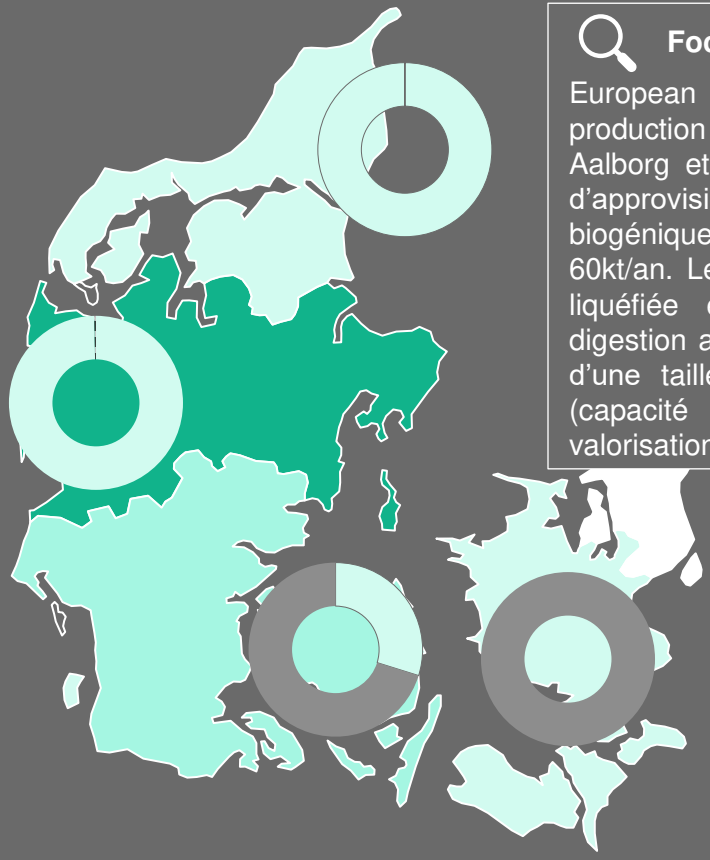
Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

En 2023, un rapport gouvernemental danois estimait les capacités de capture carbone à 10,8 Mt/an d'ici 2040. Les projets de captage du CO_2 en cours sont avant tout tournés vers le stockage du CO_2. Les politiques de soutien (Fond CCUS, NECC et GSR) n'excluent cependant pas les projets d'utilisation du CO_2, tels que les projets e-fuels.

Le Danemark développe de façon active les sites de production de biogaz (20 PJ en 2020 et 94 PJ prévu pour 2040), qui pourront servir de sources de CO_2 biogénique pour la production d'e-fuels. Dans son rapport (2022), l'EBA** estime le potentiel captable actuel à 0,7 Mt/an.

L'exécution de la deuxième partie de stratégie CCS danoise implique également l'analyse de l'intérêt des technologies DAC (Direct Air Capture) et la réduction de leur coût, ce qui pourrait bénéficier à la filière e-fuels.



Focus sur un projet :

European Energy, qui porte 3 projets de production d'e-méthanol à Kassø, Aalborg et Padborg, a signé un accord d'approvisionnement sur 10 ans en CO_2 biogénique avec Anaergia à hauteur de 60kt/an. Le CO_2 sera fourni sous forme liquéfiée et produit sur un site de digestion anaérobie exploité par Tønder, d'une taille particulièrement importante (capacité de 40 Mnm3/an, avec valorisation 900 kt/an de biomasse)

** Denmark's Global climate impact report 2023 ** European Banking Authority*

Focus Danemark – Besoins hydriques

Sur la base des projets annoncés

En 2022, la consommation totale en eau du Danemark était de **934 Mm³***, dont 25% pour la consommation des foyers. L'agriculture représente 59% de cette consommation, suivi de l'industrie manufacturière (6%). Le Danemark n'est **pas soumis à des questions de pénuries ou de rareté d'approvisionnement en eau**, ou bien de façon très exceptionnelle. La **qualité des ressources en eau potable** est parmi les meilleures d'Europe. Le **coût est aussi parmi les plus élevés du continent**, ce qui dissuade aussi toute utilisation superflue.

Indicateurs

06

Consommations d'eau des projets prévus

7,1 Mm³ / an

Remarques sur la lecture de l'indicateur

- 7,1 Mm³ consommés
- 13 Mm³ prélevés et restitués (selon choix technologiques technologies)

L'électrolyse et la capture CO2 consomment de l'eau. L'eau de refroidissement des électrolyseurs et des équipements permettant la synthèse des e-fuels peut être restituée dans le milieu.

Besoin hydrique régionaux (Mm3 / an)

- 0
-] 0 ; 1]
-] 1 ; 2]
-] 2 ; 3]
-] 3 ; 4]
- > 4

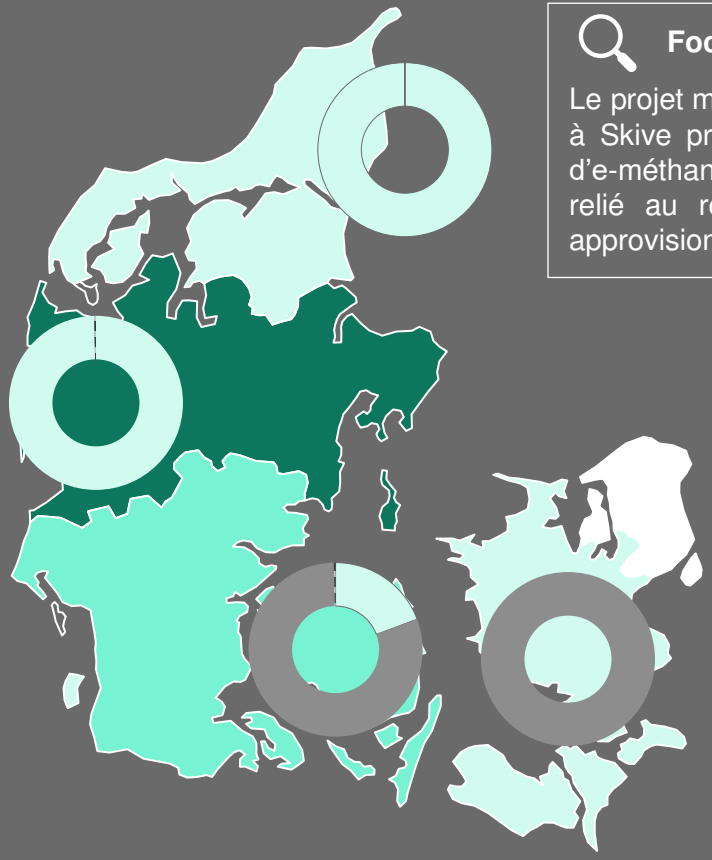
Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

Le Danemark dispose d'une structure d'approvisionnement en eau décentralisée où l'eau potable est produite localement dans l'une des 2 600 stations d'eau publiques du pays.

Le pays applique le principe du « pollueur-payeur », ce qui signifie que ceux qui sont responsables de la pollution doivent également supporter les coûts de sa gestion afin d'éviter des dommages à la santé humaine ou à l'environnement.

Sous réserve d'un plan de gestion de l'eau adapté et de garantie apportée sur la qualité de l'eau restituée, la question de l'approvisionnement en eau ne semble pas être un problème pour le développement de projets e-fuels au Danemark.



Focus sur un projet :

Le projet mené par Reintegrate et Advent à Skive prévoit de produire 3,4 ktep/an d'e-méthanol. Le site de production sera relié au réseau d'eau local pour son approvisionnement.

Projets à la localisation non annoncée

*Statistics Denmark, 2022

Focus Danemark – Besoins en financements

Sur la base des projets annoncés

Le Ministère du Climat et de l'Energie a publié en 2022 sa **stratégie d'adaptation** du cadre réglementaire, de développement des infrastructures nécessaires et des exportations de produits et technologies liés aux e-fuels. Le pays se fixe l'objectif d'installer de **4 à 6 GW de capacités d'électrolyse d'ici 2030**. Depuis 2021, la **mission Green Fuels »,** œuvrant pour l'incorporation des fuels vert dans le secteur des transports et de l'industrie, bénéficie d'une enveloppe **de 38 M€** attribuée par le Research Reserve du Fond d'innovation danois. En 2023, un **appel d'offre** a été lancé par le ministère pour l'attribution de **170 M€ de subvention** pour des projets PtX sur 10 ans.

Indicateurs

07

Besoins en financement des projets prévus

11,6 Mds €

Remarques sur la lecture de l'indicateur

De nombreux projets ne communiquent pas leur niveau d'investissement ou n'ont pas encore atteint ce stade. Nous avons extrapolé les besoins en financement par comparaison avec des projets financés existants.

Besoin en financement régionaux (Mrd€ / an)

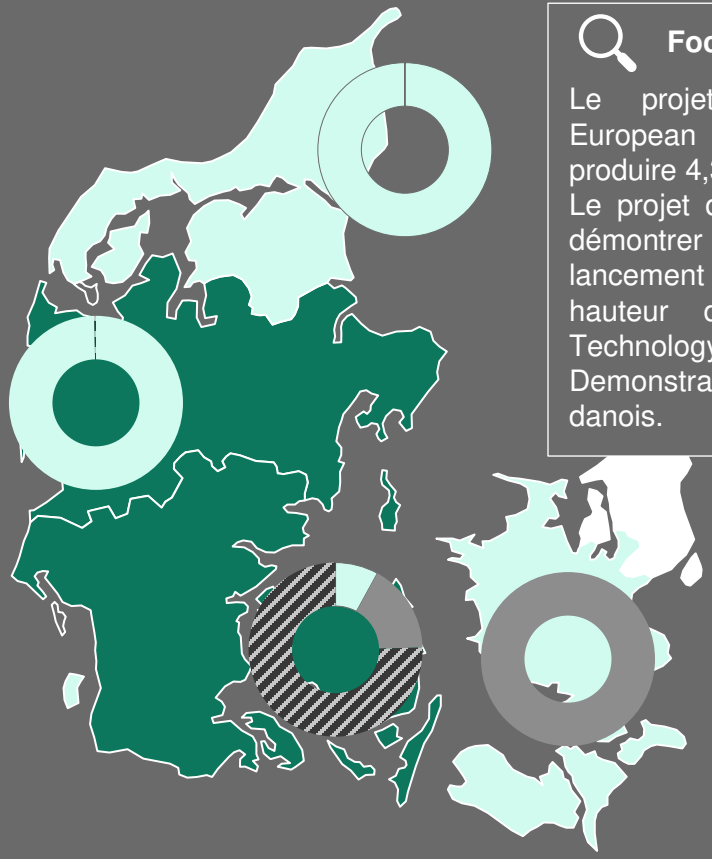
0
] 0 ; 1]
] 1 ; 2]
] 2 ; 3]
] 3 ; 4]
> 4

Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

Un peu moins de la moitié des projets annoncés au Danemark ont atteint une décision finale d'investissement et sont en activité (5 sur 12) montrant la solidité des modèles d'affaires des développeurs.

Le Danemark opère un fond CCUS de 2,15 Mds€ visant à promouvoir les technologies de captage et d'utilisation du CO2. Le pays a lancé récemment un appel d'offre en 2023. 2 projets e-fuels ont été nommés : Padborg PtX et Kassø PtX Expansion, portés par European Energy. Plusieurs projets ont aussi bénéficié de subventions du gouvernement au travers de l'UEDP : Skive, Ramme (11M€), MeSAF (1,25M€), Green Fuel for Denmark (1,25M€).



Focus sur un projet :

Le projet MeSAF développé par European Energy à Allborg devrait produire 4,3 ktep d'e-méthanol d'ici 2024. Le projet de 2,6 M€ a pour objectif de démontrer la technologie avant lancement commercial et est financé à hauteur de 1,25 M€ par Energy Technology Development and Demonstration Programme (EUDP) danois.

SIAPARTNERS

BUREAU FRANÇAIS des e-fuels

Observatoire international des e-fuels.

Février 2024

Partie 2.

Etat des lieux des dynamiques dans une sélection de pays

Europe

Fiche Espagne

Focus Espagne – Contexte général

L'Espagne présente un potentiel certain pour le développement d'une filière e-fuels. Le pays a été témoin d'un **virage significatif vers l'installation d'énergie renouvelable** afin de réduire ses émissions de GES et est **le 3ème pays européen avec la plus grande capacité de production** énergétique renouvelable. Son mix électrique est issu à **60% de la production d'énergie renouvelable** en 2022 et **le prix de l'électricité associé est un des plus bas d'Europe**, notamment pour les PPAs solaires et éoliens. L'Espagne rencontre par ailleurs un **défi de décarbonation de son secteur pétrochimique** qui représente 6,1% du PIB national.

Soutien et politiques publics

Plan Nacional Integrado de Energía y Clima – PNIEC 2021-2030 (2020, mise à jour 2023)*: prévoit 11 GW de capacités d'électrolyseur installées, 20 TWh de biogaz produit, 62 GW de production éolienne et 76 GW solaire et 22 GW de capacités de stockage. Les énergies renouvelables devraient représenter 81% du mix électrique du pays en 2030.

Hoja de Ruta del Hidrógeno (2020, mise à jour 2023)* : identifie les défis et opportunités liés au développement de l'hydrogène renouvelable en Espagne et exprime une série de mesures destinées à stimuler les investissements et alignées sur les objectifs fixés par l'UE et le PNIEC.

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia - PERTE (2021) :** Plan de relance découpé en différentes thématiques qui recevra 160 Mds€ du fond de relance NextGeneration EU. Le « PERTE de energías renovables, hidrógeno renovable y almacenamiento » (PERTE ERHA), recevra 6,92 Mds€ du PERTE et 9,45 Mds€ du secteur privé pour les projets de transition énergétique. Il vise notamment l'allocation de 1,6 Mds€ de fonds publics pour le développement de projets hydrogène avec un financement privé additionnel de 2,8 Mds€.

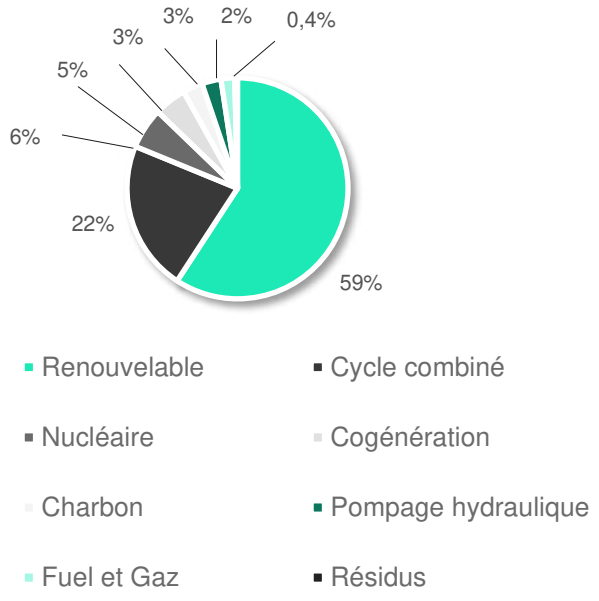
- **Programme "H2 Pioneros" du MITECO (2023)*** ** : 2 rounds de subventions à hauteur de 150M€ chacun. Ce sont 31 projets récompensés en 2023, dont 3 projets e-fuels sur le second round (Musel GreenMet, GP H2 As Pontes, H2OSSA).
- **H2 Cadena de Valor du MITECO (2021-2023)*** ** : 4 programmes d'appel d'offres cumulant 266 M€ d'investissements.

6 rounds d'appel d'offres
Pour des subventions à des projets H2

11 GW en 2030
De capacité d'électrolyse visée

4,2Mds€ pour des projets H2
Montant prévus par le public et le privé

Mix énergétique de l'électricité en Espagne (Red Eléctrica, 2022)



** MITECO :Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, **Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, *** IDEA : Insititut pour la Diversification et les économies d'énergies*

Focus Espagne – Tableau de bord des indicateurs 2030

Capacités totales projetées en 2030

1 292 ktep/an

01 Capacité de production des projets en construction ou en activité

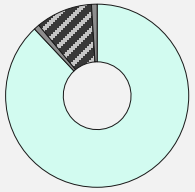
0 ktep / an

02 Capacité de production des projets avec FID

0 ktep / an

03 Capacité de production des projets à l'étude

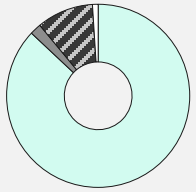
1 292 ktep / an



04 Besoin en électricité

36 TWh / an*

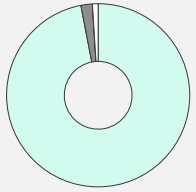
31 TWh : électrolyse de l'eau
5 TWh : synthèse des e-fuels



05 Besoin en carbone

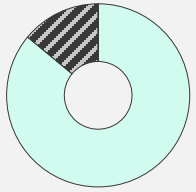
3,3 $MtCO_2$ / an

À capturer dans la biomasse ou l'industrie



06 Besoin hydrique (eau consommée)

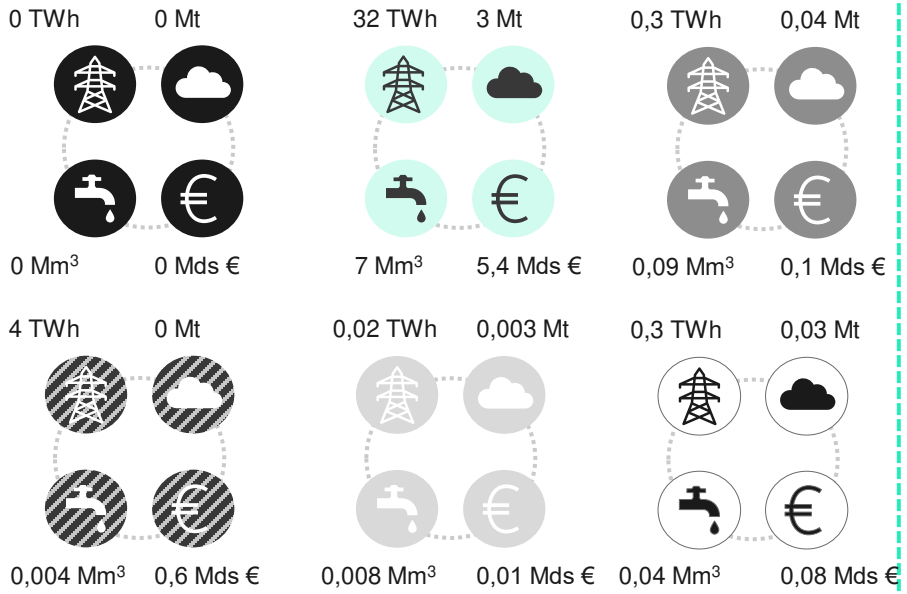
7,2 Mm^3 / an

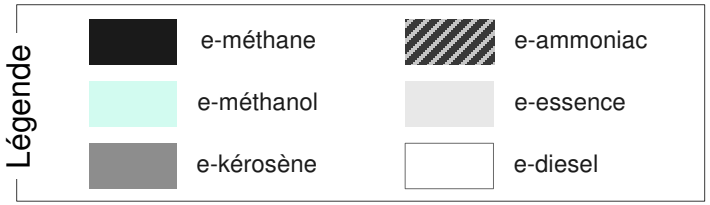


07 Besoin en financement

10,7 Mds €

Quantités de ressources à mobiliser par molécule / an

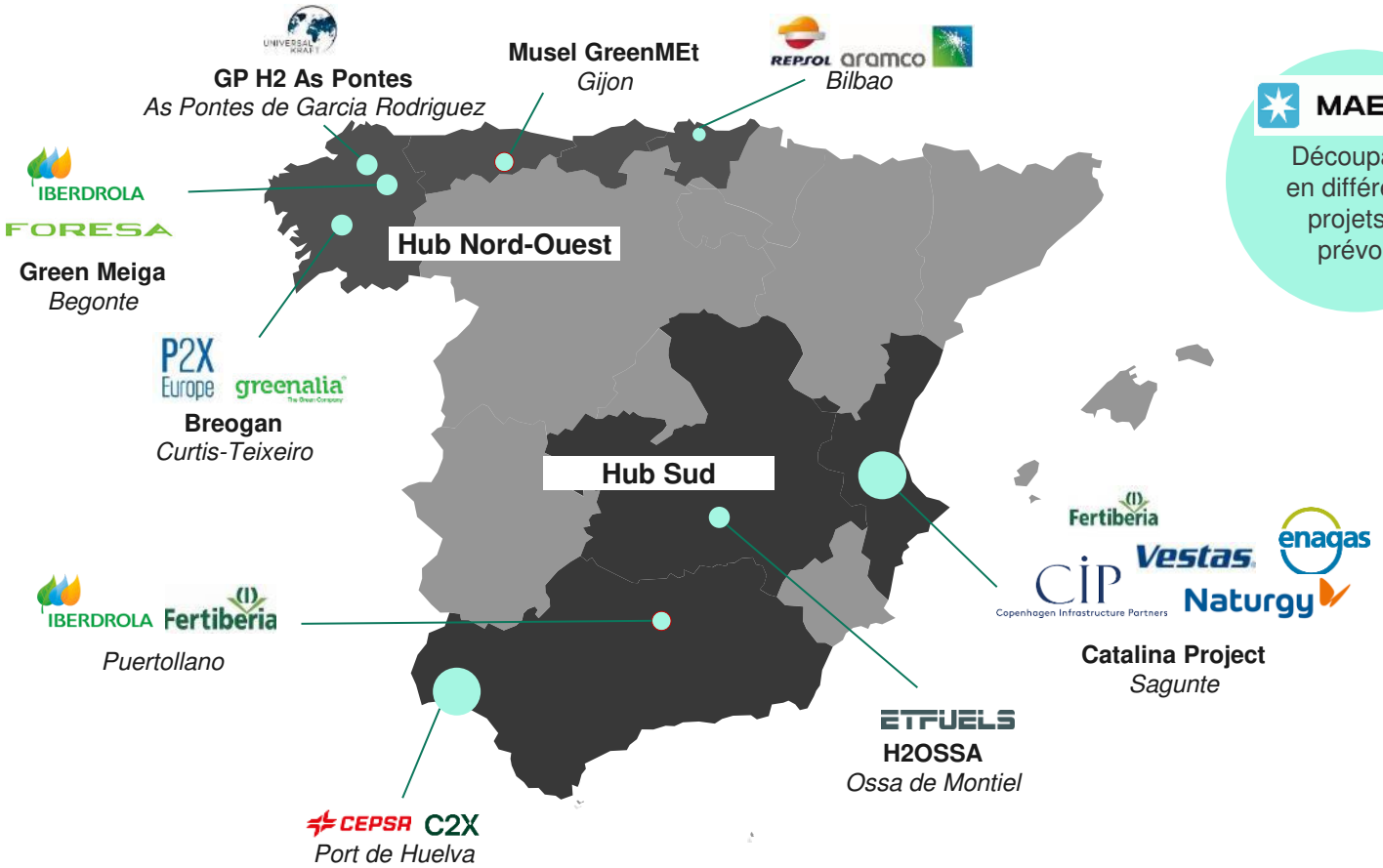




* Besoins en électricité : pour un rendement énergétique de l'ensemble de la chaîne de valeur de 45% en 2030. **Perspectives d'évolutions technologiques permettant d'atteindre des rendements de 55% à terme.**

Focus Espagne – Vue d'ensemble des projets annoncés publiquement

Nous recensons **13 projets** en Espagne encore à l'étude. Parmi ces projets, l'entreprise **Synhelion** ne communique pas la ou les molécules qu'elle envisage de développer, uniquement les usages envisagés pour l'aviation, le transport maritime et routier. Nous n'avons pas non plus encore accès aux données concernant les capacités de production envisagées pour 3 projets Synhelion Solar, Musel GreenMEt et celui porté par Iberdrola et Fertiberia. L'ensemble des projets se concentrent sur **2 hubs** que nous prendrons comme sujet d'étude : le **Nord-Ouest et le Sud**. L**a localisation précise de 3 projets demeure inconnue.**



MAERSK

Découpage en différents projets à prévoir

4 projets dont la localisation est inconnue

Elyse
eM-Numancia
Castilla & Leon

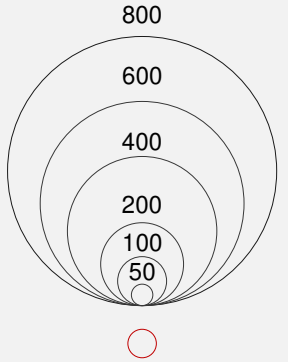
FORESTAL del Atlántico
Triskelion

Synhelion

Projets en construction ou en activité

Projets avec FID

Projets annoncés



Capacités de production actuelles ou prévues des projets (ktep/an)

Capacités de production non annoncées

Focus Espagne – Acteurs

Le **gouvernement espagnol** est impliqué dans le développement d'un projet e-fuel au travers de la **joint-venture avec Maersk, qui représente 72% des capacités de production annoncées**. Dans l'ensemble, les projets annoncés sont portés par des acteurs variés. Des **acteurs historiques** (Repsol, Aramco, Maersk, Naturgy) sont positionnés mais la plupart des projets sont portés par des **pure player** (Synhelion, ET Fuels, Elyse, C2X, P2X Europe). On remarque aussi le positionnement de **développeur de projets d'énergie renouvelable** (Universal Kraft, Vestas, Enagas).

01. Construit et/ou actif							
02. Financé							
03. À l'étude	**REPSOL / aramco** 2025 e-essence e-kérosène	**Synhelion Solar** Synhelion 2025-2026 Inconnu	**Port de Hueva** C2X / CEPSA 2025-2026 e-methanol	**Breogan** P2X Europe / greenalia 2027 e-kérosène e-diesel	**Catalina project** Vestas / enagas / Fertiberia / Naturgy 2027 e-ammoniac	**IBERDROLA / Fertiberia** Inconnu e-ammoniac	**Triskelion** FORESTAL del Atlántico 2028 e-methanol
	Maersk Project MAERSK Inconnu e-essence e-methanol	**eM-Numancia** Elyse 2027 e-methanol	**Musel GreenMet** Inconnu e-methanol	**Musel GreenMet** ETFUELS 2027-2028 e-methanol	**GP H2 As Pontes** UNIVERSAL KRAFT Inconnu e-ammoniac	**Green Meiga** IBERDROLA / FORESA Inconnu e-methanol	

Focus Espagne – Capacité de production d'e-fuels

Sur la base des projets annoncés

Sur l'ensemble des projets répertoriés à date, la production est estimée à **1 292 ktep/an d'ici 2030**. L'ensemble des projets sont encore **au stade de l'étude.** La plupart des capacités sont envisagées à horizon 2030, **tout en** sachant que **5 projets n'ont pas communiqué de date**. À noter que la construction d'une usine de production prend généralement 3 ans après qu'une décision finale d'investissement ait été prise.

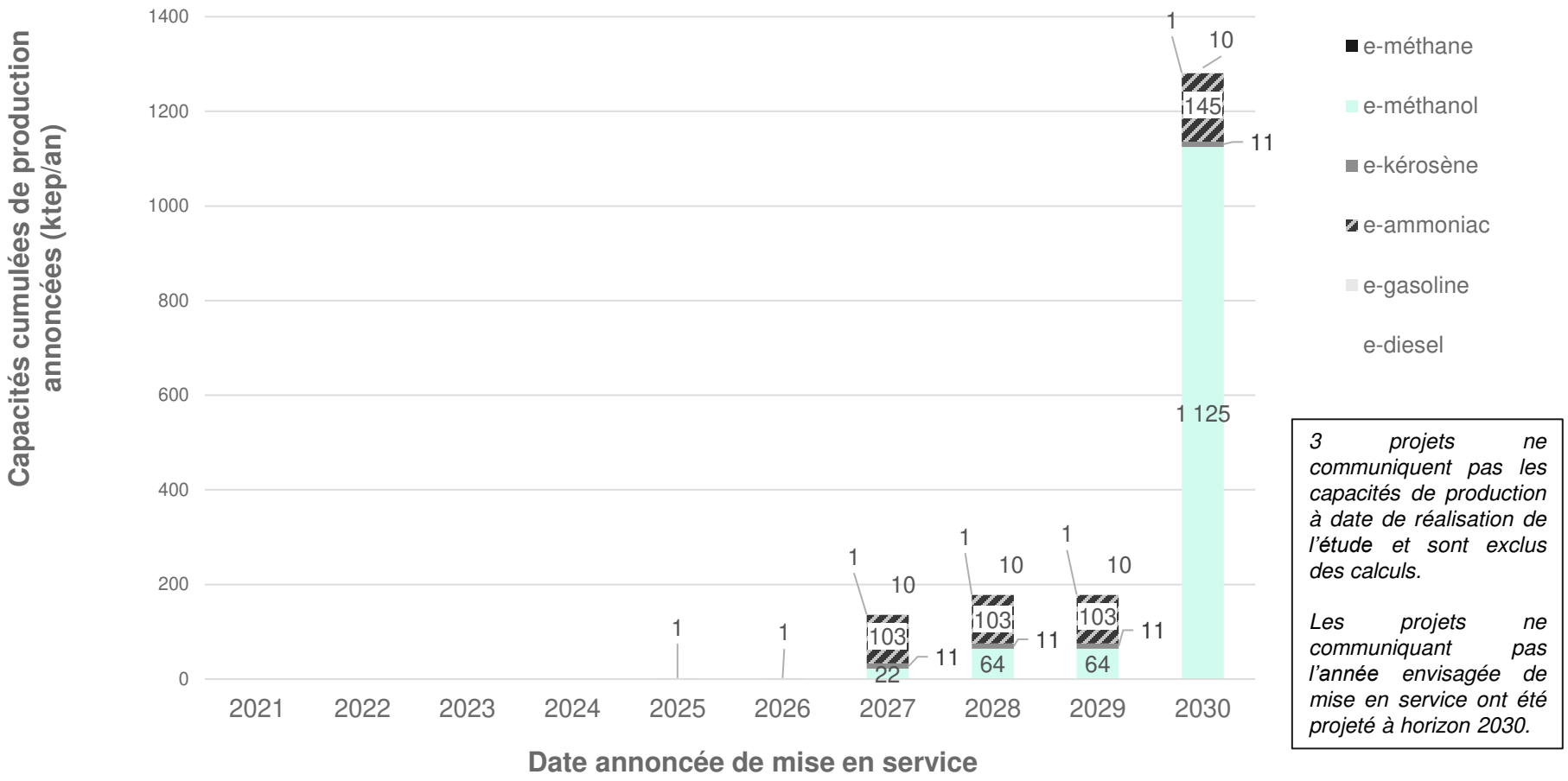
Indicateurs

01 **Capacités actives / En construction :**
0 ktep/an

02 **Projets avec FID :**
0 ktep/an

03 **Projets à l'étude :**
1 292 ktep/an

	Capacité de production (ktep/an)	Nombre de projets
e-méthane	0	0
e-méthanol	1125	7
e-kérosène	11	2
e-ammoniac	145	3
e-essence	1	2
e-diesel	10	1
Total	**1 292**	**13**



3 projets ne communiquent pas les capacités de production à date de réalisation de l'étude et sont exclus des calculs.

Les projets ne communiquant pas l'année envisagée de mise en service ont été projeté à horizon 2030.

*Certains projets développent plusieurs molécules et ont été comptabilisé pour chaque molécule, expliquant la différence entre la somme totale des projets par molécule et le total de projet annoncés.

Focus Espagne – Besoins en électricité

Sur la base des projets annoncés

Les énergies renouvelables et nucléaire ont représenté **64% du mix électrique espagnol en 2022**. **L'éolien** est en tête du mix (22%), avec une croissance de 5,3% (Nov 2022 - Nov 2023, mais le **solaire** enregistre la plus forte hausse (près de 34% sur la même période) pour 14,5% du mix électrique. Sur les 5 dernières années, ces deux sources de production ont connu une **augmentation de 71,5%.** Ces évolutions représentent un **défi d'intégration** pour le système électrique qui présente u**ne capacité d'interconnexion et de stockage limité**.

Indicateurs

04

Besoin électrique des projets prévus

36 TWh / an

Précisions sur la lecture de l'indicateur

- 31 TWh : électrolyse de l'eau
- 5 TWh : synthèse des e-fuels

Besoins pour un rendement énergétique de la chaîne de valeur de 45% en 2030. ***Perspectives d'évolutions technologiques permettant d'atteindre 55% à terme.***

Besoin électrique régionaux (TWh / an)

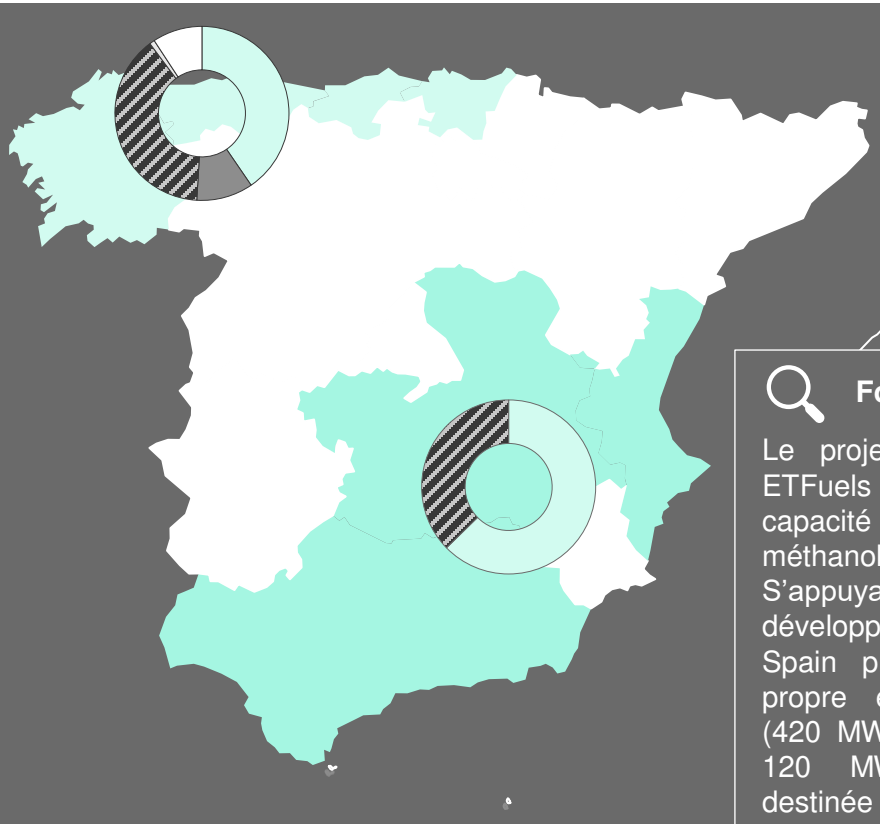
- 0
-] 0 ; 5]
-] 5 ; 10]
-] 10 ; 15]
-] 15 ; 20]
- > 20

Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

La production totale d'électricité s'est élevée à 276 TWh en 2022 dont 116,5 TWh de renouvelable. Le plan quinquennal (2022-2027) inclus le développement de 1 à 3 GW d'éolien offshore*. Le total des besoins représente 9% de la production d'électricité renouvelable projetée pour 2030. Pour autant le mix espagnol marqué par les énergies intermittentes pourrait impliquer le développement de stockage d'électricité sur batterie.

La moitié des projets de production d'e-fuels annoncent une production électrique sur site ou à proximité. Les projets souhaitant s'approvisionner en signant un contrat PPA renouvelable peuvent bénéficier des prix les bas d'Europe (40,9 €/ MWh), juste derrière le Portugal (39,6 €/MWh)**.



Focus sur un projet :

Le projet H2OSSA porté par ETFuels Spain prévoit une capacité de production d'e-méthanol de 43k tep/an. S'appuyant sur un modèle de développement off-grid, ETFuels Spain prévoit de produire sa propre électricité renouvelable (420 MW d'électricité solaire et 120 MW d'éolien offshore) destinée exclusivement au projet.

** Ministère français de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique ** El Periódico de la Energía*

Focus Espagne – Besoins carbone

● Sur la base des projets annoncés

Les émissions de CO_2 en Espagne en 2022 étaient de **248 Mt** (+3,1% par rapport à 2021). Les secteurs les plus émetteurs sont le **transport (30%), l'industrie (22%), l'agriculture (12%) et la génération d'électricité (11%)***. Les activités industrielles les plus émettrices sont la **raffinerie, la cimenterie, la production et la transformation des métaux, et la production de pâte et papier**. Jusqu'à présent, l'Epagne n'a que peu intégrée dans le débat public le déploiement de technologies de captage du carbone et de son utilisation.

Indicateurs

05 ●

Besoin carbone des projets prévus

3,3 Mt / an

Remarques sur la lecture de l'indicateur

Le carbone est utilisé comme intrant, avec de l'hydrogène, pour la synthèse du e-méthane, de l'e-méthanol, l'e-kérosène, l'e-diesel et l'e-essence. La production d'e-ammoniac, ainsi que la part électro-sourcée des e-biofuels, ne comprend pas d'utilisation de carbone.

Besoin carbone régionaux (kt / an)

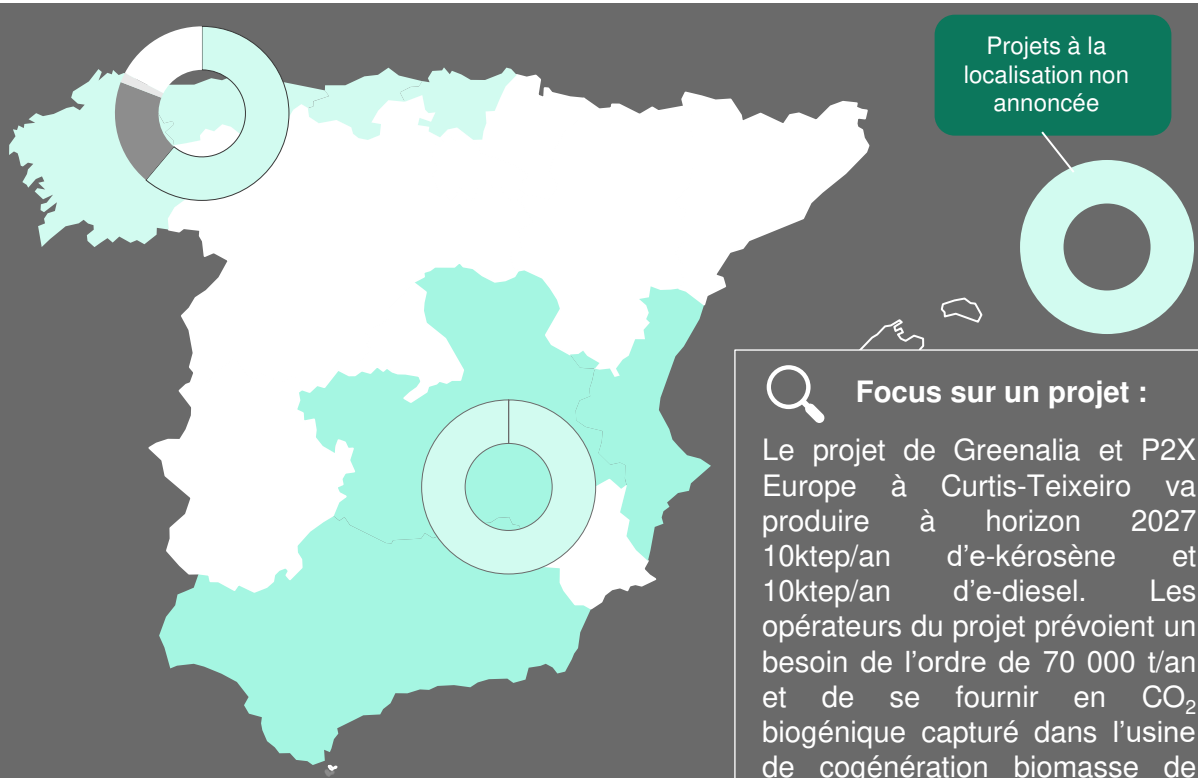
- 0
-] 0 ; 500]
-] 500 ; 1000]
-] 1000 ; 1500]
-] 1500 ; 2000]
- > 2000

Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

Le pays présente un important potentiel captable, largement nécessaire pour subvenir à ses besoins en carbone. À elle seule, la cimenterie émet près de 20 Mt de CO_2/an, la production étant répartie sur tout le territoire. Le Nord de l'Espagne concentre des gisements de CO_2 issus de l'industrie de la pâte et papier (3 Mt/an), fer et acier (5,3 Mt/an).
Les gazoducs actuels peuvent être utilisés pour transporter le CO_2. Le réseau de gaz dessert l'ensemble du territoire et est interconnecté avec le Portugal.

Sur les quatre projets communiquant sur leur approvisionnement en CO_2, tous prévoient de se fournir en CO_2 biogénique auprès de sources proches.



Focus sur un projet :

Le projet de Greenalia et P2X Europe à Curtis-Teixeiro va produire à horizon 2027 10ktep/an d'e-kérosène et 10ktep/an d'e-diesel. Les opérateurs du projet prévoient un besoin de l'ordre de 70 000 t/an et de se fournir en CO_2 biogénique capturé dans l'usine de cogénération biomasse de Greenalia située à proximité.

** Norvento Enerxía*

Focus Espagne – Besoins hydriques

Sur la base des projets annoncés

Selon les plans de gestion des bassins hydrographiques, la consommation en eau en Espagne pour 2020 était de l'ordre de **2 291 Mm³/an***. **L'irrigation et les utilisations agricoles représentent environ 80,5 %**, suivie de **la consommation urbaine qui représente 15,5 %.** Le **reste est destiné à un usage industriel** (industrie agroalimentaire, papetière et chimique). L'Espagne est face à un **défi de gestion de l'eau** et le gouvernement a adopté différents **plans d'action pour la Mer mineure et le Parc Doñana** et un **plan stratégique pour les zones humides**. Le MITECO** s'est aussi engagé dans la révision et l'actualisation des **Plans Spéciaux Sécheresse**.

Indicateurs

06.

Besoins hydriques des projets prévus

7,2 Mm³ / an

Remarques sur la lecture de l'indicateur

- 7,2 Mm³ consommés
- 12,6 Mm³ prélevés et restitués (selon choix technologiques technologies)

L'électrolyse et la capture CO2 consomment de l'eau. L'eau de refroidissement des électrolyseurs et des équipements permettant la synthèse des e-fuels peut être restituée dans le milieu.

Besoin hydrique régionaux (Mm3 / an)

0

] 0 ; 1]

] 1 ; 2]

] 2 ; 3]

] 3 ; 4]

> 4

Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

Le besoin hydrique, qui s'élève à 19,8 Mm³, incluant eau prélevée puis restituée, représente un défi d'approvisionnement. 67% du pays est touché par la désertification. Le taux de précipitation ne se situe qu'à 85 % de la moyenne européenne. De ce fait, la plupart des bassins hydrographiques n'atteignent pas 60% de la capacité totale de leur réserve hydraulique.

La répartition inégale des ressources crée une concurrence et des rivalités, entre communautés autonomes, notamment au sujet du gaspillage des ressources. Le Hub Nord est une région peu soumise à une situation de pénurie au contraire du Hub Sud, grande région agraire. Or, le hub Sud présente déjà un nombre significatif de projets.

Focus

Le rapport de l'IRENA (International Renewable Energy Agency) publié en déc-2023 estimait que 40% des projets hydrogène, situés stratégiquement dans les zones les plus ensoleillées pour la production d'énergie renouvelable, étaient dans des régions sous haut stress hydrique. Le Hub Sud compte déjà 4 projets e-fuels.

** Insituto Nacional de Estadisticas, 2020* *** MITECO = Ministerio para la Transición Ecológica, Ministère de la transition écologique*

Focus Espagne – Besoins en financements

● Sur la base des projets annoncés

Le développement d'une filière e-fuels ou de fuels alternatifs ne fait pas l'objet d'une politique de financement spécifique en Espagne, mais **une feuille de route Hydrogène** a été publié en 2020. Le **PERTE* 2021**, plan de relance découpé en différentes thématiques, inclut **le financement par des fonds publics et privés de projets hydrogène à hauteur de 4,2 Mds€**.

Indicateurs

07 ●

Besoins en financement des projets prévus

10,7 Mds €

Remarques sur la lecture de l'indicateur

De nombreux projets ne communiquent pas leur niveau d'investissement ou n'ont pas encore atteint ce stade. Nous avons extrapolé les besoins en financement par comparaison avec des projets financés existants.

Besoin en financement régionaux (Mrd€ / an)

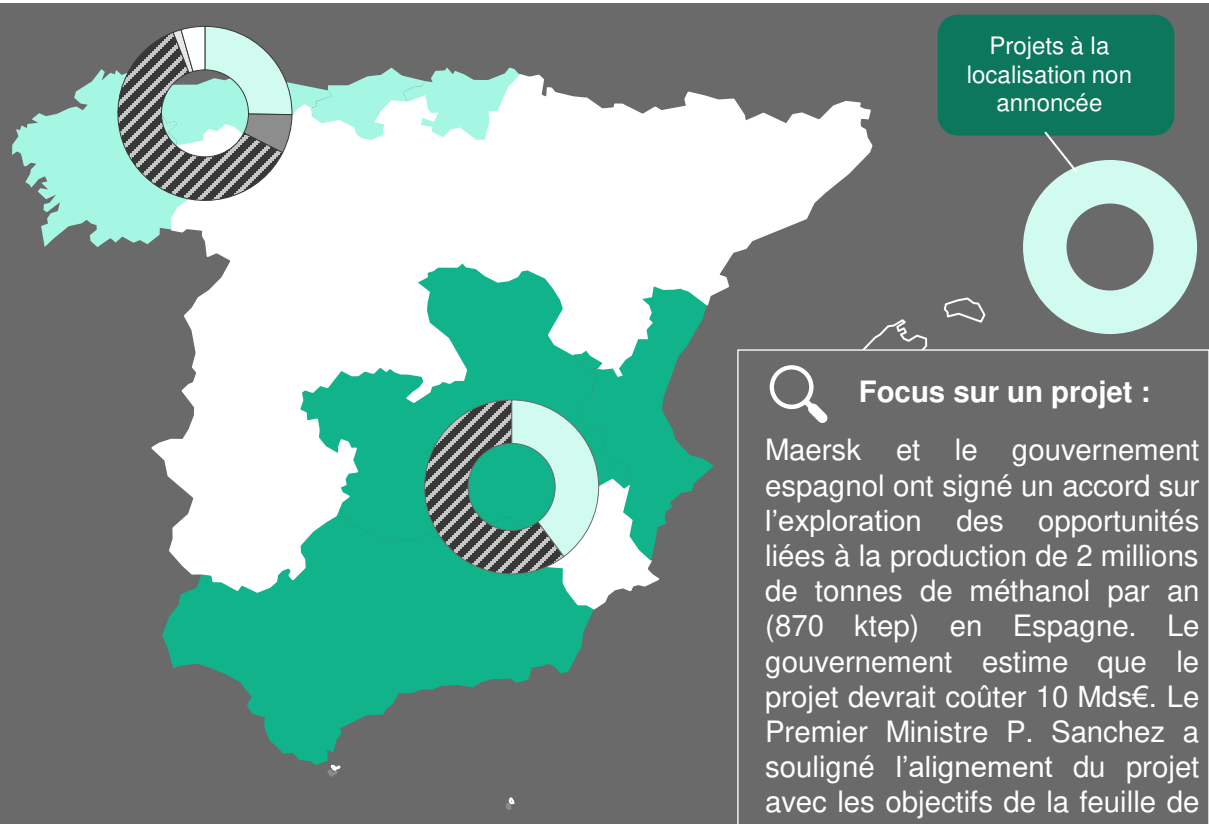
- 0
-] 0 ; 1]
-] 1 ; 2]
-] 2 ; 3]
-] 3 ; 4]
- > 4

Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

Jusqu'à présent aucun projet e-fuels n'a atteint de décision finale d'investissement. Les financements annoncés par le gouvernement peuvent aider à sécuriser les modèles d'affaires. Les deux rounds de subventions de 2023 du programme "H2 Pioneros" du MITECO ont attribué 300 M€ à 31 projets, dont 3 projets e-fuels sur le second round : Musel GreenMet, GP H2 As Pontes et H2OSSA.

Les premières subventions liées au PERTE-ERHA pour les projets de 2023 ont commencé à être attribué (dont 25 M€ pour la production d'hydrogène).



Focus sur un projet :

Maersk et le gouvernement espagnol ont signé un accord sur l'exploration des opportunités liées à la production de 2 millions de tonnes de méthanol par an (870 ktep) en Espagne. Le gouvernement estime que le projet devrait coûter 10 Mds€. Le Premier Ministre P. Sanchez a souligné l'alignement du projet avec les objectifs de la feuille de route hydrogène.

** Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia*

SIAPARTNERS

BUREAU FRANÇAIS des e-fuels

Observatoire international des e-fuels.

Février 2024

Partie 2.

Etat des lieux des dynamiques dans une sélection de pays

Europe

Fiche Suède

Focus Suède – Contexte général

Avec une production électrique presque décarbonée, la Suède se positionne en leader de la transition et cherche à atteindre la **neutralité carbone d'ici 2045**. Deux défis sont à relever : la décarbonation des procédés industriels et du secteur des transports. Le gouvernement a fixé des objectifs ambitieux avec des programmes de financement associés mais ne portant pas sur des applications précises. Sous l'impulsion de l'UE, l'**intérêt national a rapidement pris de l'ampleur. Les régions ont pris des initiatives, en tirant profit des subventions européennes, pour se positionner sur les secteurs hydrogènes émergents (hydrogène vert, e-fuels).**

Soutien et politiques publics

Mandat de réduction des GES (2017)** : Les fournisseurs de carburants doivent réduire leurs émissions de GES chaque année d'un certain pourcentage, via **l'incorporation de biofuels et e-biofuels.**

Fossil Free Sweden (2015)* : Initiative lancée par le gouvernement regroupant des acteurs privés et publics proposant des mesures politiques présentées au gouvernement **et ayant notamment abouti à la publication d'une stratégie pour l'hydrogène en 2021**.

National Hydrogen Strategy (2021)** : Formulée par l'Agence Suédoise de l'énergie, elle recoupe les principales dispositions de la stratégie de l'UE et Fossil Free Sweden. Elle fixe un objectif de capacités d'électrolyse installées de 5 GW d'ici 2030 et 15 GW d'ici 2045.

Climate Leap (2015)** : l'Agence de protection de l'environnement propose un soutien financier pour des projets bas-carbone dans les secteurs non couverts par l'EU-ETS. Sur la période 2015-2022, 74 candidatures de projets liés à l'hydrogène ont été reçues dont 49 en 2021, et 41 ont reçu une subvention dont 29 en 2021. Financé par le fond NextGenerationEU à hauteur de 810M€.

Industrial Leap (2018)** : l'Agence Suédoise de l'énergie promeut la recherche et les projets de démonstration pour décarboner l'industrie. Financé par NextGenerationEU à hauteur de 287 M€.

IPCEI Hydrogen – Sweden (2021)* : l'Agence Suédoise de l'énergie s'assure de la participation nationale en allouant des fonds (18 M€ en 2021 et en 2022).

41 projets

Subventionnés par Climate Leap 2015-2022

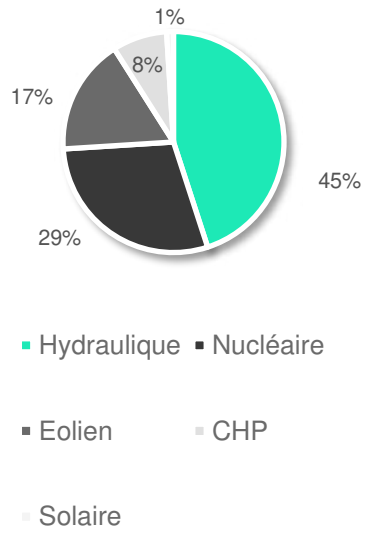
5 GW en 2030

De capacité d'électrolyse

1,1 Mds€ à investir

Dans la R&D et projets bas-carbone

Mix énergétique de l'électricité en Suède (Swedish Energy Agency, 2022)



** Fossil Free Sweden ; ** RIFS Postdam : Institut de recherche pour le développement durable de Postdam*

Focus Suède – Tableau de bord des indicateurs 2030

Capacités totales projetées en 2030

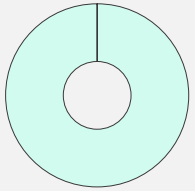
472 ktep/an

01 Capacité de production des projets en construction ou en activité

0 ktep / an

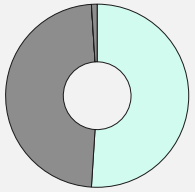
02 Capacité de production des projets avec FID

22 ktep / an



03 Capacité de production des projets à l'étude

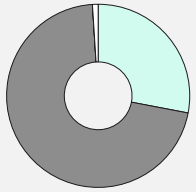
450 ktep / an



04 Besoin en électricité

13 TWh / an*

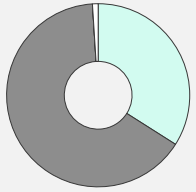
11 TWh : électrolyse de l'eau
2 TWh : synthèse des e-fuels



05 Besoin en carbone

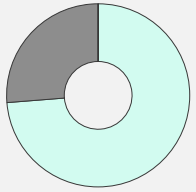
1,4 $MtCO_2$ / an

À capturer dans la biomasse ou l'industrie



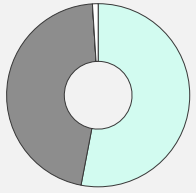
06 Besoin hydrique (eau consommée)

0,6 Mm^3 / an

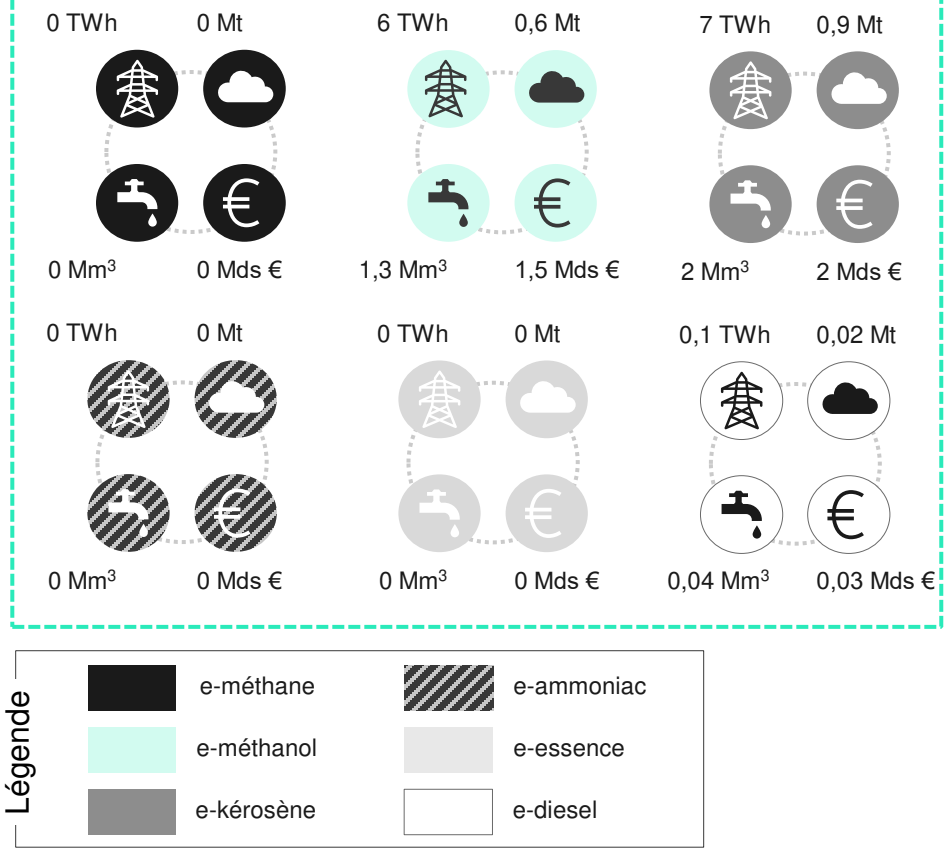


07 Besoin en financement

36,1 SEK
3,2 Mds €



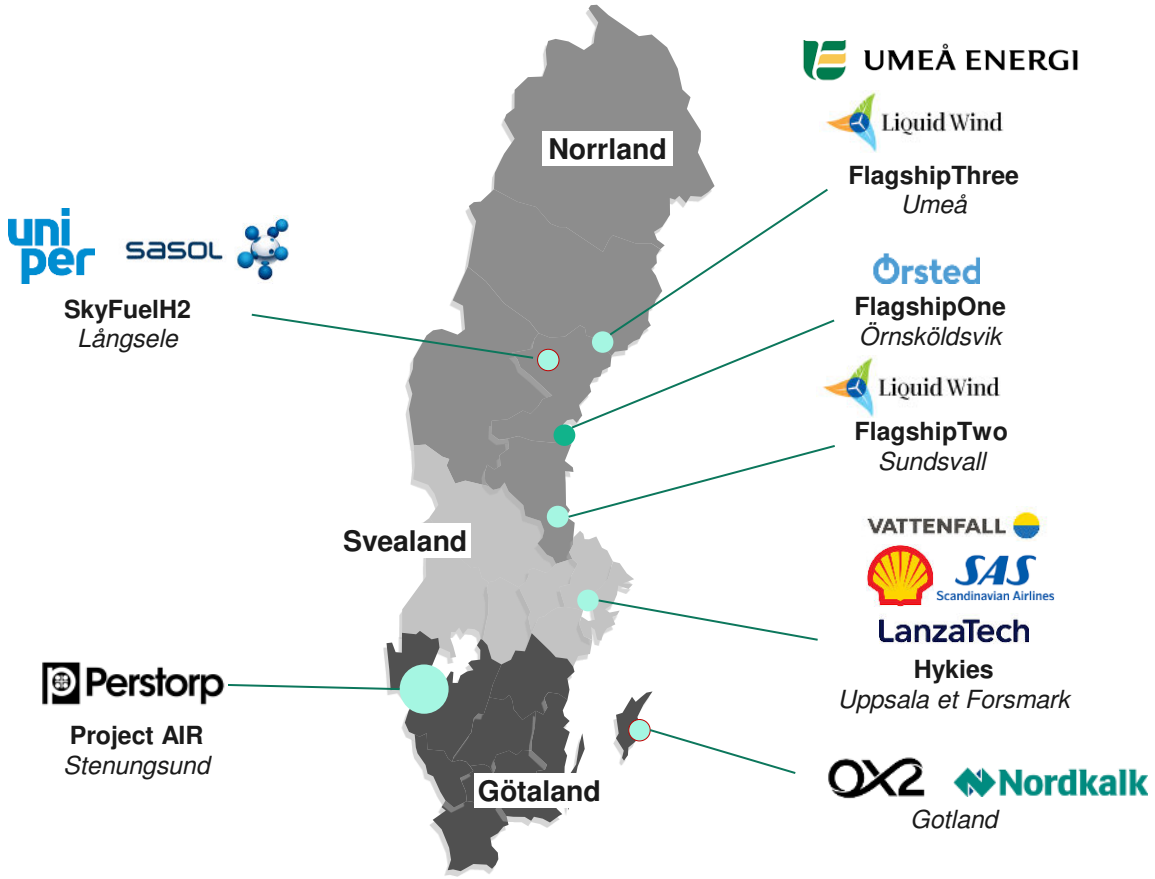
Quantités de ressources à mobiliser par molécule / an



* Besoins en électricité : pour un rendement énergétique de l'ensemble de la chaîne de valeur de 45% en 2030. **Perspectives d'évolutions technologiques permettant d'atteindre des rendements de 55% à terme.**

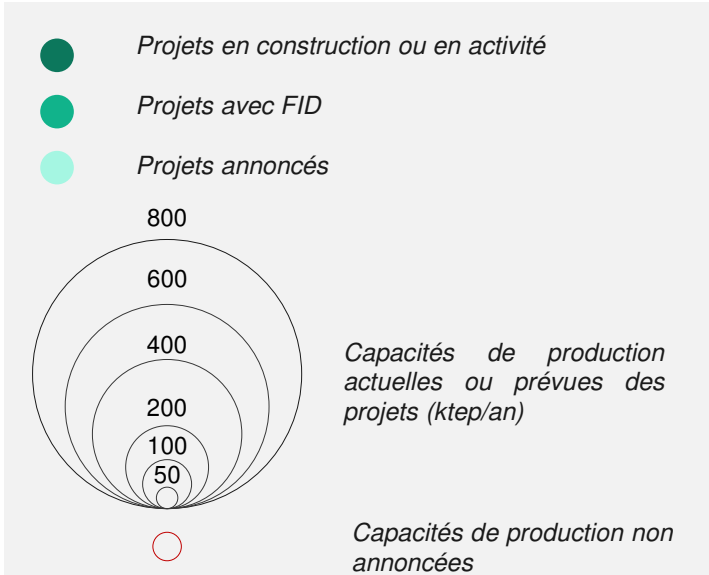
Focus Suède – Vue d'ensemble des projets annoncés publiquement

Nous recensons **8 projets en Suède**, à divers stades d'avancement : **1 projet bénéficie d'une FID et les 7 autres sont encore à l'étude**. Parmi ces projets, le projet porté par OX2 et Nordkalk ne communique pas encore les capacités de production envisagées. Vattenfall et st1 n'ont pas encore communiqué la localisation exacte de leur projet. L'ensemble des projets se concentrent sur la côte Est de la Suède. La région de **Norrland concentre la moitié des projets**, mais la région du **Götaland concentre plus du tiers des capacités**.



1 projet dont la localisation est inconnue

VATTENFALL st1



Focus Suède – Acteurs

Les projets en Suède sont encore presque tous au stade de l'étude. Deux acteurs sont notablement actifs : **Liquid Wind et Vattenfall**. Liquid Wind, pur player créé en 2017, opère 2 projets et a récemment cédé le projet FlagshipOne à Orsted. **Les grands énergéticiens historiques portent de nombreux projets** (Vattenfall, Sasol, Uniper, Orsted, Shell, Perstorp). Lanzatech et ST1 se positionnent aussi en **collaboration avec de grands énergéticiens historiques** (Vattenfall et Shell), tout en opérant sur des activités connexes : les biofuels pour Lanzatech tandis que ST1 se diversifie davantage vers les technologies CCUS et les énergies renouvelables.

01. Construit et/ ou actif

02. Financé

FlagshipOne

Ørsted

2025

e-methanol

03. À l'étude

FlagshipTwo

Liquid Wind

2026

e-methanol

FlagshipThree

Liquid Wind

UMEÅ ENERGI

2026

e-methanol

HySkies

VATTENFALL

LanzaTech

SAS Scandinavian Airlines

2027

e-kérosène
e-diesel

Project AIR

Perstorp

2026

e-methanol

Gotland

OX2

Nordkalk

Inconnu

Inconnu

SkyFuelH2

uniper

sasol

2028

e-kérosène

Vattenfall et St1 Nordic Oy

VATTENFALL

st1

2029

e-kérosène

Focus Suède – Capacité de production d'e-fuels

● Sur la base des projets annoncés

Sur l'ensemble des projets répertoriés à date, la production est estimée à **472 ktep/an d'ici 2030**. La plupart des projets sont encore **au stade de l'étude**, seulement 1 projet a passé le stade FID. Les perspectives de mises en service de quasiment l'ensemble des projets vont au-delà de l'horizon 2025, sachant qu'un **projet n'a pas communiqué de date de mise en service et qu'un autre n'a pas communiqué les capacités de production envisagées**. À noter que la construction d'une usine de production prend généralement 3 ans après qu'une décision finale d'investissement ait été prise.

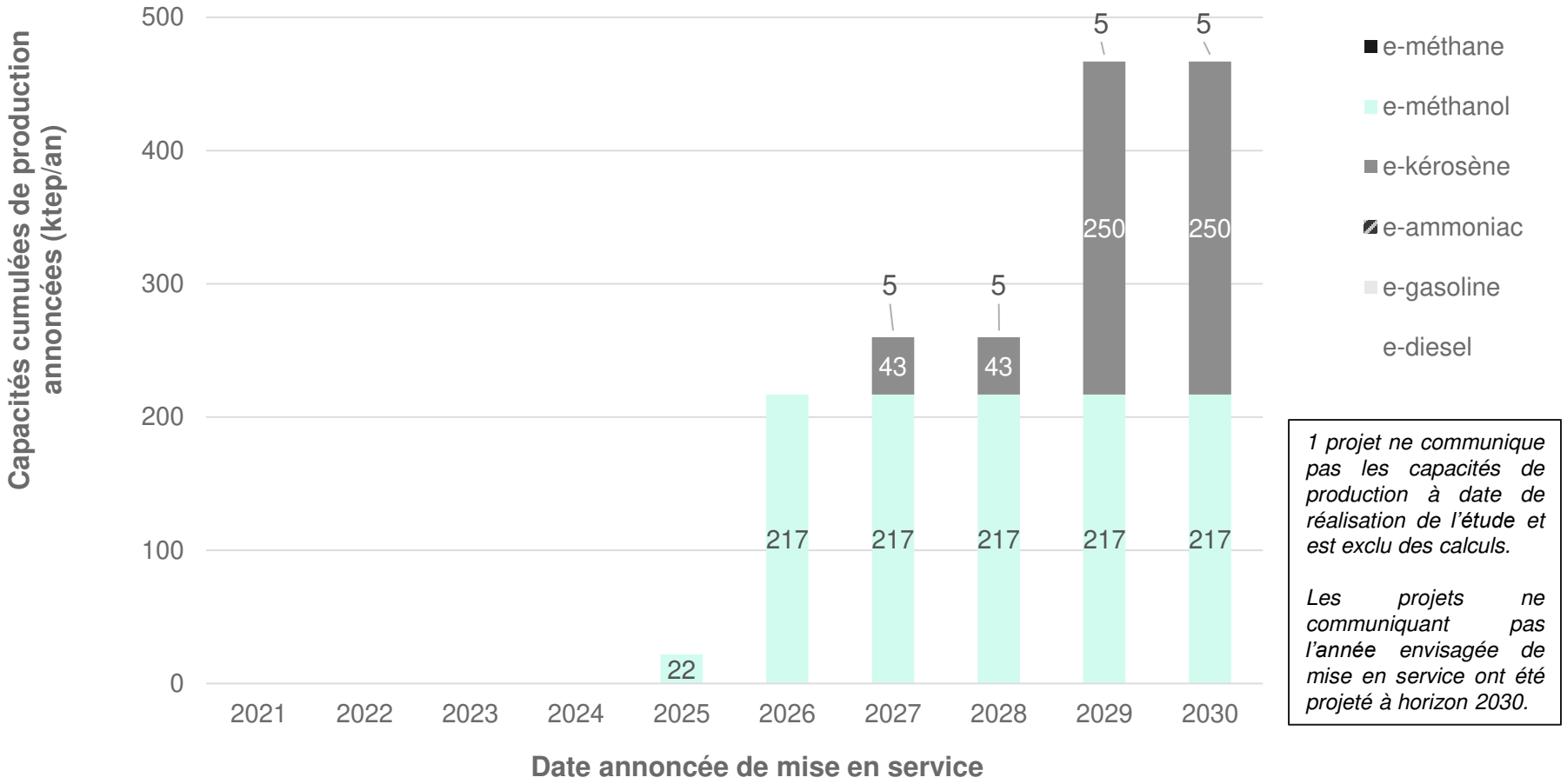
Indicateurs

01 ● **Capacités actives / En construction :**
0 ktep/an

02 ● **Projets avec FID :**
22 ktep/an

03 ● **Projets à l'étude :**
450 ktep/an

	Capacité de production (ktep/an)	Nombre de projets
e-méthane	0	0
e-méthanol	217	4
e-kérosène	250	3
e-ammoniac	0	0
e-essence	0	0
e-diesel	5	1
Total	**472**	**8**



1 projet ne communique pas les capacités de production à date de réalisation de l'étude et est exclu des calculs.

Les projets ne communiquant pas l'année envisagée de mise en service ont été projeté à horizon 2030.

Focus Suède – Besoins en électricité

Sur la base des projets annoncés

Le mix électrique de la Suède est presque entièrement décarboné, et composé à **plus de 60% de sources renouvelables**. L'énergie hydraulique représente 45% du mix, le nucléaire 29%, l'éolien 17% et la cogénération 8%. La Suède est aussi exportatrice nette d'électricité, à hauteur de **33 TWh d'exportations vers ses voisins** (Finlande, Danemark, Pologne et Lituanie). Se fixant un objectif de **100%** de renouvelable **d'ici 2040**, le pays poursuit ses efforts d'intégration de sources renouvelables, principalement éolienne.

Indicateurs

04

Besoin électrique des projets prévus

13 TWh / an

Précisions sur la lecture de l'indicateur

- 11 TWh : électrolyse de l'eau
- 2 TWh : synthèse des e-fuels

Besoins pour un rendement énergétique de la chaîne de valeur de 45% en 2030. ***Perspectives d'évolutions technologiques permettant d'atteindre 55% à terme.***

Besoin électrique régionaux (TWh / an)

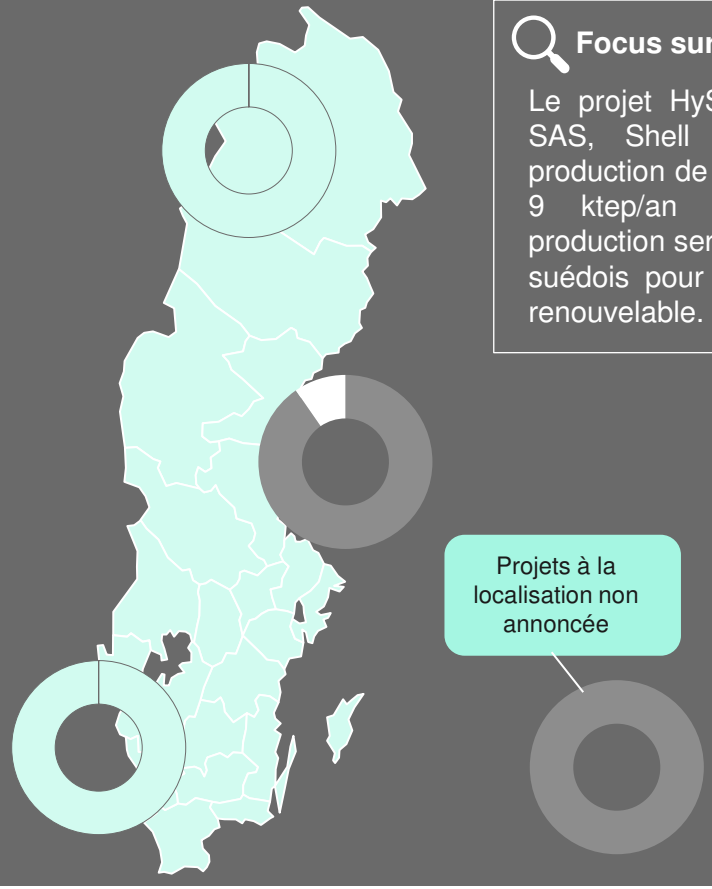
- 0
-] 0 ; 5]
-] 5 ; 10]
-] 10 ; 15]
-] 15 ; 20]
- > 20

Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

La question de l'approvisionnement en électricité renouvelable ne semble pas être un problème majeur comparativement à d'autres pays. Le mix électrique du pays étant presque décarboné, composé à 74% de nucléaire et hydraulique, permettant la production d'électricité à haut facteur de charge. La Suède est aussi exportateur net d'électricité et vise le 100% renouvelable d'ici 2040.

En Janv-2022, le gouvernement a dévoilé son intention de produire 120 TWh d'énergie éolienne offshore dans les années à venir, selon un plan déterminé d'ici décembre 2024. Une augmentation significative car la consommation en 2022 du pays était de 173 TWh. L'Agence suédoise de l'énergie a identifié trois zones dans le golfe de Botnie, la mer Baltique et la mer du Nord, avec un potentiel de production éolien total de 30 TWh par an.



Focus sur un projet :

Le projet HySkies porté par Vattenfall, SAS, Shell et Lanzatech vise une production de 85 ktep/an d'e-kérosène et 9 ktep/an d'e-diesel. Le site de production sera relié au réseau électrique suédois pour la fourniture en électricité renouvelable.

Focus Suède – Besoins carbone

Sur la base des projets annoncés

En 2022, la Suède a émis **40,8 Mt de CO_2***. Tout en étant le pays avec l'un des taux de consommation d'énergie par habitant les plus élevés de l'UE et du monde (TheGlobalEconomy, 2022), la Suède a réussi à s'imposer comme **un leader mondial de la décarbonation** (AIE, 2019). Les secteurs de l'électricité et du chauffage en Suède ont été largement décarbonés. Le principal défi qui reste à relever est de **réduire les émissions provenant des processus industriels et des transports**. Le **plan climat adopté en 2017** intègre dans la stratégie de réduction des émissions carbone, **l'utilisation de la technologie de capture carbone BECCS/U.**

Indicateurs

05

Besoin carbone des projets prévus

1,4 Mt / an

Point méthodologique

Le carbone est utilisé comme intrant, avec de l'hydrogène, pour la synthèse du e-méthane, de l'e-méthanol, l'e-kérosène, l'e-diesel et l'e-essence. La production d'e-ammoniac, ainsi que la part électro-sourcée des e-biofuels, ne comprend pas d'utilisation de carbone.

Besoin carbone régionaux (kt / an)

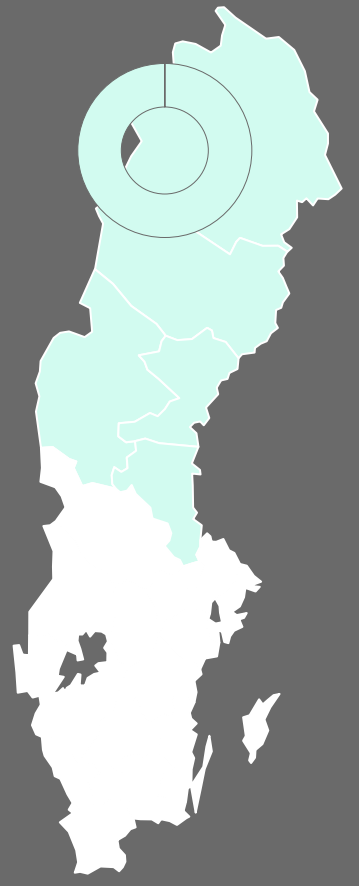
- 0
-] 0 ; 500]
-] 500 ; 1000]
-] 1000 ; 1500]
-] 1500 ; 2000]
- > 2000

Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

Le gouvernement suédois a alloué 3,3 Mds€ pour la période 2026-2046, pour les projets CCUS appliqués à des activités de valorisation de bioénergies (BECCS/U), permettant de capturer et stocker ou utiliser le CO_2 d'origine biogénique. L'Agence suédoise de l'énergie organisera des appels d'offres et fournira un soutien économique aux acteurs lauréats.

La Suède dispose de conditions particulièrement favorables pour le BECCS/U dans les installations existantes de combustion de la biomasse, y compris les centrales de cogénération, les usines de papier et de pâte à papier et les usines d'incinération des déchets. La plupart des sites sont situés au sud et sur la côte Ouest du pays.



Focus sur un projet :

Perstop et Uniper souhaitent produire 109 ktep/an d'e-méthanol avec le projet Air à horizon 2026. Le besoin est estimé à 500 kt de CO_2/an. Leur ambition est de capter les émissions du site industriel de produits chimiques de Perstop à Stenungsund. L'objectif est ainsi de remplacer le méthanol fossile actuellement utilisé en tant que matière première.

** Statistics Sweden (2022) ** Bioénergie avec captage, stockage et/ou utilisation du CO_2*

Focus Suède – Besoins hydriques

Sur la base des projets annoncés

La consommation en eau totale de la Suède s'élève à près de **3 100 Mm³/an***. Cette consommation est découpée en **68% d'utilisation par l'industrie**, 19% par les foyers, 3% pour l'agriculture et enfin 10% pour d'autres usages (principalement secteur tertiaire, construction et pertes sur le réseau)*. L'eau captée par l'industrie est utilisée par les secteurs manufacturiers (88%), minier (4%) et par **la fourniture d'électricité et gaz (9%)*.** À cela s'ajoute l'eau de mer utilisée pour les centrales nucléaire (10 Mds m³). La Suède a de l'eau en abondance et une population relativement faible. Les prélèvements totaux d'eau représentent **1% des ressources disponibles**.

Indicateurs

06

Besoins hydriques des projets prévus

0,6 Mm³ / an

Remarques sur la lecture de l'indicateur

- 0,6 Mm³ consommés
- 2,7 Mm³ prélevés et restitués (selon choix technologiques technologies)

L'électrolyse et la capture CO2 consomment de l'eau. L'eau de refroidissement des électrolyseurs et des équipements permettant la synthèse des e-fuels peut être restituée dans le milieu.

Besoin hydrique régionaux (Mm3 / an)

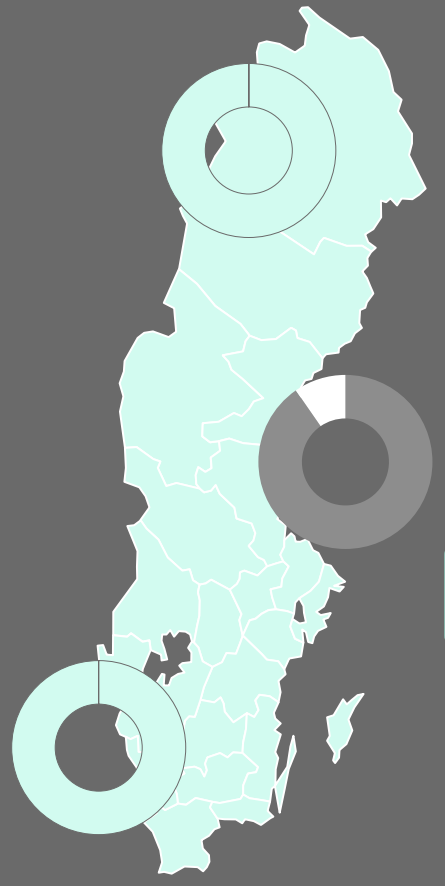
0
] 0 ; 1]
] 1 ; 2]
] 2 ; 3]
] 3 ; 4]
> 4

Part du besoin par e-fuel

e-méthane
e-méthanol
e-kérosène
e-ammoniac
e-essence
e-diesel

La Suède possède d'importantes réserves en eau et l'approvisionnement de projets e-fuels en cette ressource n'apparaît pas comme un obstacle à leur développement.

Pour autant, une gestion raisonnée de la ressource est nécessaire. Depuis 2017, plus de 70 réserves naturelles à vocation limnologique ont été créées pour pallier les impacts sur les écosystèmes et la biodiversité de l'environnement aquatique des centrales hydroélectriques, des barrages et du drainage des terres. Seul 40% des points d'eau en surface présentent un bon statut écologique, le reste souffrant de pénurie, sécheresse ou inondations (Third management cycle survey 2016-2021).



Projets à la localisation non annoncée

Focus sur un projet :

Le projet AIR, porté par Perstop et Uniper prévoit la production de 109 ktep/an d'e-méthanol avec à horizon 2026. Uniper sera en charge de l'approvisionnement en hydrogène. Le site de production sera le premier électrolyseur au monde à utiliser des eaux usées purifiées afin de synthétiser l'hydrogène.

** Statistics Sweden (2020)*

Focus Suède – Besoins en financements

Sur la base des projets annoncés

La Suède ne propose pas de politique spécifique au développement de projets e-fuels mais soutient des projets liés à la production d'hydrogène. La **stratégie hydrogène** publiée en 2021 a été co-élaborée par **l'Agence Suédoise de l'énergie et Fossil Free Sweden**, initiative gouvernementale regroupant acteurs publics et privés. Cette stratégie vise des **capacités installées de 5 GW d'ici 2030**. Des **mécanismes de financements publics** sont prévus afin de soutenir le développement de projets de transition bas-carbone, notamment liés à l'hydrogène : **Climate Leap (2015) et Industrial Leap (2018),** pour un montant total de **1,1 Mds€**.

Indicateurs

07.

Besoins en financement des projets prévus

3,2 Mds €

Remarques sur la lecture de l'indicateur

De nombreux projets ne communiquent pas leur niveau d'investissement ou n'ont pas encore atteint ce stade. Nous avons extrapolé les besoins en financement par comparaison avec des projets financés existants.

Besoin en financement régionaux (Mrd€ / an)

0
] 0 ; 1]
] 1 ; 2]
] 2 ; 3]
] 3 ; 4]
> 4

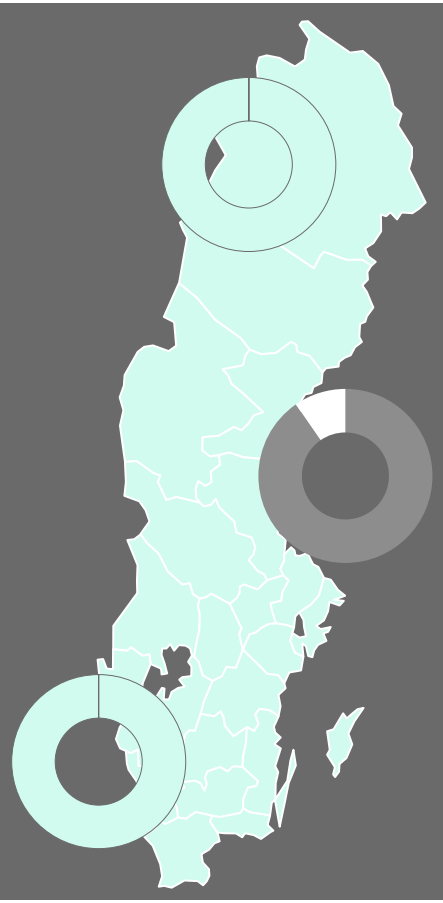
Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

Un seul projet a passé la décision finale d'investissement sur les 8 projets annoncés.

Le montant des financements publics dédiés à la décarbonation et auxquels peuvent prétendre les projets paraît conséquent au vu des besoins. Mais ces fonds se destinent à une large palette de solutions, sans fléchage particulier vers des projets e-fuels.

Il peut être noté que la Suède ne possède pas de réseaux de gaz développé. Le pays a en effet de longue date effectué une transition vers le chauffage par biomasse et combustion des déchets. Le gaz naturel joue un rôle mineur dans le mix énergétique suédois (<2%). Le développement d'un éventuel réseau de transport d'hydrogène desservant les sites de production d'e-fuels serait ainsi particulièrement couteux, faute de pouvoir s'appuyer sur des reconversions d'infrastructures existantes.



Projets à la localisation non annoncée

Focus sur un projet :

SkyFuelH2 est un projet développé à Långsele par Uniper et Sasol, pour la production d'e-kérosène. Le projet est co-financé par l'Agence suédoise de l'énergie à hauteur de 11,9M€. Ce montant devrait couvrir environ 25% des 44,9M€ d'investissements nécessaires estimés.

SIAPARTNERS

BUREAU FRANÇAIS des e-fuels

Observatoire international des e-fuels.

Février 2024

Partie 2.

Etat des lieux des dynamiques dans une sélection de pays

Amérique du nord

Fiche Canada

Focus Canada – Contexte général

Les enjeux de décarbonation sont importants. L'industrie pétrochimique représente 6% du PIB et le Canada est le **4ème plus gros producteur de pétrole** au monde et le **6ème pour le gaz**. Le pays est aussi le **6ème pays au monde producteur d'électricité** avec **60% de son mix électrique issu de l'énergie hydraulique**. Ainsi, le Canada présente un grand potentiel pour le développement de projets e-fuels avec un **fort soutien au niveau fédéral**. L'électricité dans certaines régions est particulièrement abordable (Ontario, Québec…) et certains Etat développent leur propre stratégie hydrogène et des mécanismes d'investissement.

Soutien et politiques publics

Stratégie de l'hydrogène (2020)* : Document destiné à stimuler les investissements dans la production et l'utilisation d'hydrogène et créer des partenariats.

Clean Fuel Fund (2021)** : Fond de 1 Mds€ pour soutenir la production nationale et l'adoption de combustibles à faible intensité carbone, comme l'hydrogène ou les biocarburants.

SIF Net-Zero Accelerator (2021)*** : Fond de 5,3 mds€ pour accélérer les projets de décarbonation des grands émetteurs et la transformation industrielle du secteur de l'énergie.

Plan de réduction des émissions pour 2030 (2022)**** : stratégie pour lutter contre les changements climatiques en favorisant la croissance économique. Vise à réduire les émissions de 40% sous les niveaux de 2005 d'ici 2030 et à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050.

Règlement sur les combustibles propres (2022)** : mesures incitatives favorisant le développement et l'adoption de combustibles, technologies et processus propres. Il exige des fournisseurs de réduire progressivement l'intensité carbone de l'essence et du diesel d'environ 15% d'ici 2030 (par rapport aux niveaux de 2016).

Crédits d'impôts pour une économie durable et propre (2023)***** : 55 Mds € pour promouvoir les technologies d'énergie verte et les infrastructures associées au travers de l'instauration de crédits d'impôts à l'investissement dans l'électricité, les technologies et l'hydrogène propres.

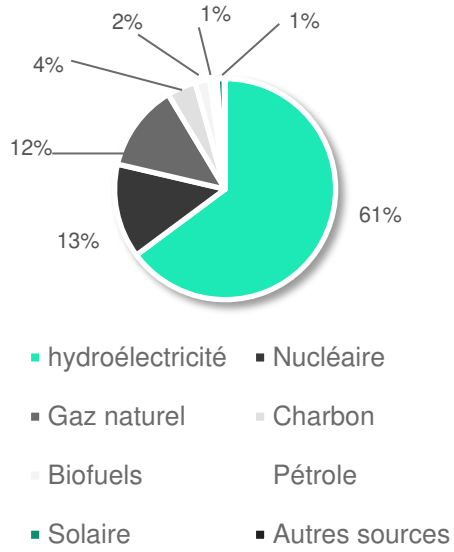
-40% de GES emis

D'ici 2030

67,2 Mds$ de mesures

Pour les technologies propres

Mix énergétique de l'électricité au Canada (IEA - 2022)



** IEA ** Canada Energy Regulator *** Invest in Canada **** Government of Canada*

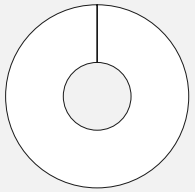
Focus Canada – Tableau de bord des indicateurs 2030

Capacités totales projetées en 2030

2 953 ktep/an

01 Capacité de production des projets en construction ou en activité

125 ktep / an

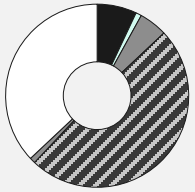


02 Capacité de production des projets avec FID

230 ktep / an

03 Capacité de production des projets à l'étude

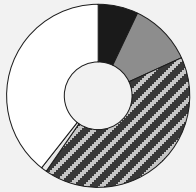
2 598 ktep / an



04 Besoin en électricité

83 TWh / an*

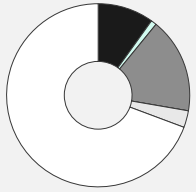
71 TWh : électrolyse de l'eau
12 TWh : synthèse des e-fuels



05 Besoin en carbone

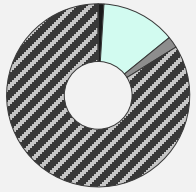
2,9 $MtCO_2$ / an

À capturer dans la biomasse ou l'industrie



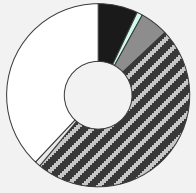
06 Besoin hydrique (eau consommée)

8,3 Mm^3 / an

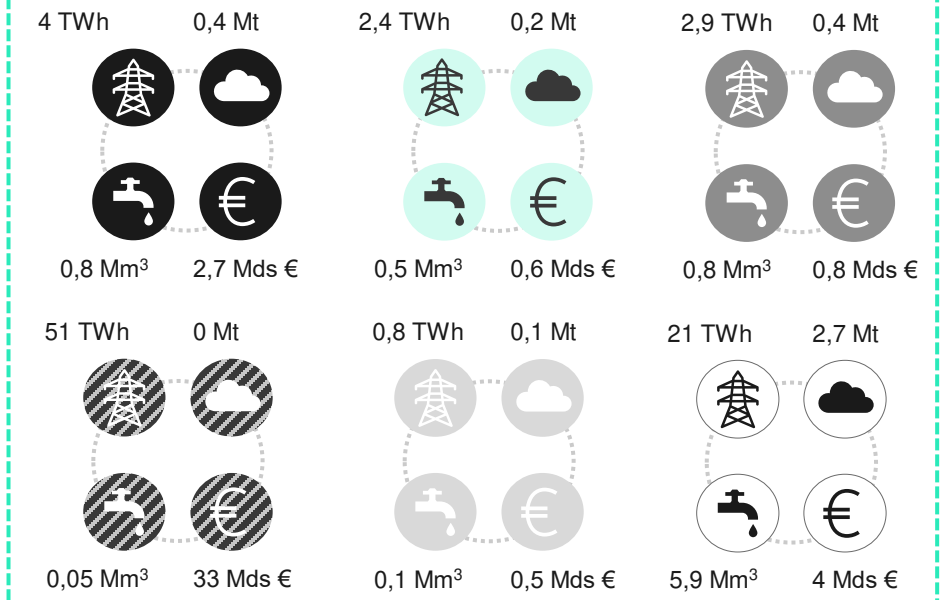


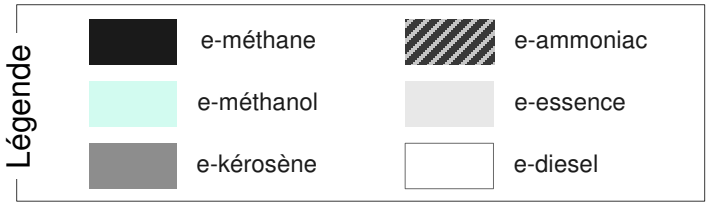
07 Besoin en financement

60 Mds CAD
Soit 41 Mds €



Quantités de ressources à mobiliser par molécule / an

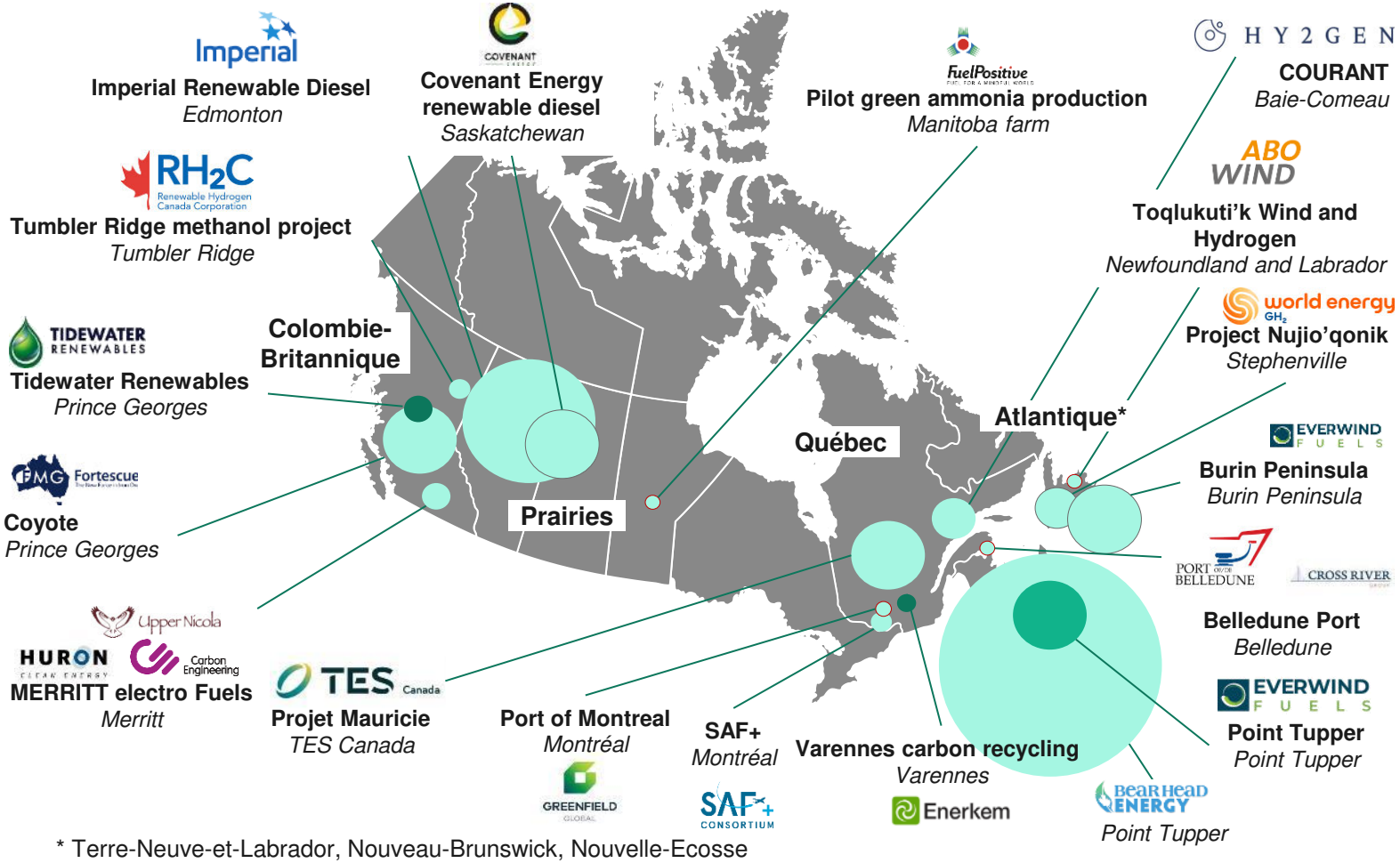




* Besoins en électricité : pour un rendement énergétique de l'ensemble de la chaîne de valeur de 45% en 2030. **Perspectives d'évolutions technologiques permettant d'atteindre des rendements de 55% à terme.**

Focus Canada – Vue d'ensemble des projets annoncés publiquement

19 projets de carburants de synthèse ont été recensés au Canada. Une partie d'entre eux se situent dans l'est du Canada, en Nouvelle-Écosse et à Terre-Neuve-et-Labrador et se destinent **à de l'exportation notamment en Europe**. **La majorité des projets** (15 sur 18) **sont encore à l'étude, 1 projet est en activité, 1 en construction et un dernier est en FID.** La dynamique de la filière e-fuels apparait équilibrée dans le sud du Canada : le nombre et les capacités des projets sont comparables entre la **Colombie britannique, les Prairies (Alberta, Saskatchewan, Manitoba), le Québec et l'Atlantique.**



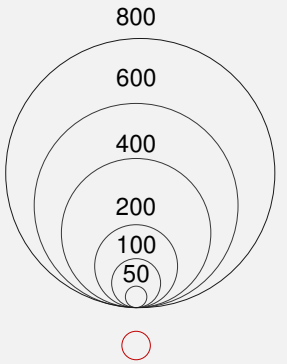
1 projet dont la localisation est inconnue

MÆRSK
Biomass green methanol pilot project

Projets en construction ou en activité

Projets avec FID

Projets annoncés



Capacités de production actuelles ou prévues des projets (ktep/an)

Capacités de production non annoncées

* Terre-Neuve-et-Labrador, Nouveau-Brunswick, Nouvelle-Ecosse

Focus Canada – Acteurs

La dynamique est portée par des acteurs dits « **pure players** » dont l'activité est centrée sur la production d'e-fuels ou « green fuels » : **Hy2gen, World Energy, Bear Head Energy, EverWind Fuels, SAF+ consortium, Fuel Positive, TES, Covenant Energy et Enerkem**. Les **industriels pétroliers et gaziers sont moins présents** sur la scène canadienne :Tidewater et Imperial Oil. Quelques acteurs plus divers complètent le panorama dont Fortescue (entreprise minière), ABO Wind développeur d'énergies renouvelables, le grand armateur danois Maersk qui opère plusieurs projets dans le monde ou encore Cross River Bank avec le Port de Belledune.

01. Construit et/ou actif

TIDEWATER RENEWABLES	VCR – Enerkem
2023	2025
e-diesel	e-diesel

02. Financé

Point Tupper – EVERWIND FUELS
2025
e-ammoniac

03. À l'étude

Covenant Ren. diesel	**Toqlukuti'k Wind and H2**	**MERRITT electro Fuels**	**SAF+**	**Project Nujio'qonik**	**Burin Peninsula**	**Imperial Ren. Diesel**	
COVENANT	ABO WIND	Upper Nicola HURON	SAF+ CONSORTIUM	world energy GH2	EVERWIND FUELS	Imperial	BEAR HEAD ENERGY
2026	2030	2026	2028	2026	2027	2025	2027
e-diesel	e-ammoniac	e-essence/ kérosène/diesel	e-kérosène	e-ammoniac	e-ammoniac	e-diesel	e-ammoniac
Coyote	**Belledune Port**	**Pilot Manitoba farm**	**Projet Mauricie**	**Port of Montreal**	**Green methanol pilot**	**COURANT**	**Tumbler Ridge**
FMG Fortescue	PORT BELLEDUNE CROSS RIVER	FuelPositive	TES Canada	GREENFIELD	MÆRSK	HY2GEN	RH2C Renewable Hydrogen Canada Corporation
Inconnu	2027	Inconnu	2028	Inconnu	Inconnu	2028	2028
e-ammoniac	e-ammoniac	e-ammoniac	e-methane	e-methanol	e-methanol	e-ammoniac	e-methanol

Focus Canada – Capacité de production d'e-fuels

● Sur la base des projets annoncés

Sur les 2 953 ktep de projets prévus à 2030, **seuls 355 ktep ont été sécurisés** par des décisions finales d'investissement. La majorité des projets concernent la production **d'e-ammoniac (principalement pour l'exportation) ou d'e-diesel**. 2025 et 2026 sont des années charnières pour les carburants de synthèse au Canada où la majorité des projets verront le jour. Il est à noter que **plusieurs projets ont toutefois déjà reporté au moins une fois** leur date de mise en service (SAF+, Covenant Energy Renewable Diesel, etc…).

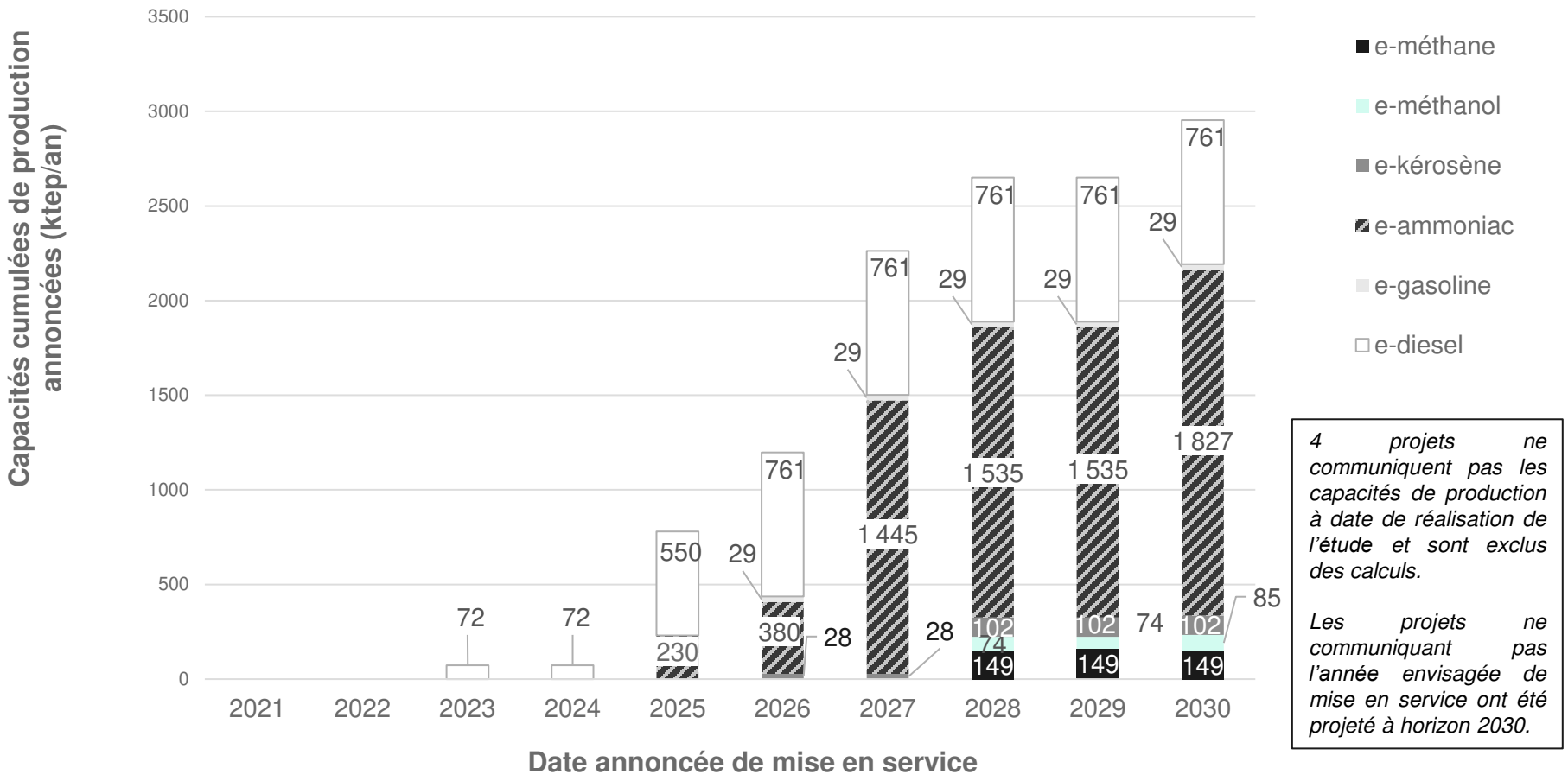
Indicateurs

01 **Capacités actives / En construction :**
125 ktep / an

02 **Projets avec FID :**
230 ktep / an

03 **Projets à l'étude :**
2 598 ktep / an

	Capacité de production (ktep/an)	Nombre de projets
e-méthane	149	1
e-méthanol	85	3
e-kérosène	102	2
e-ammoniac	1 827	9
e-essence	29	1
e-diesel	761	5
Total	**2 953**	**19**



4 projets ne communiquent pas les capacités de production à date de réalisation de l'étude et sont exclus des calculs.

Les projets ne communiquant pas l'année envisagée de mise en service ont été projeté à horizon 2030.

* Certains projets développent plusieurs molécules et ont été comptabilisé pour chaque molécule, expliquant la différence entre la somme totale des projets par molécule et le total de projet annoncés.

Focus Canada – Besoins en électricité

Sur la base des projets annoncés

Le mix électrique du Canada est globalement décarboné avec **67%** de la production issu d'énergies **renouvelables** (dont 61% de l'hydraulique) et **13%** issu du **nucléaire**. La **production** totale d'électricité s'élève à **656 TWh** pour une **consommation totale de 656 TWh**. La production canadienne suffit pour satisfaire la demande et le pays. Le pays est aussi importateur et exportateur d'électricité. Le développement de **l'énergie éolienne** a connu une forte croissance ces dernières années (+1,8 GW en 2022), ainsi que le **solaire** (1/4 des capacités installées en 2022). .

Indicateurs

04

Besoin électrique des projets prévus

83 TWh / an

Précisions sur la lecture de l'indicateur

- 71 TWh : électrolyse de l'eau
- 12 TWh : synthèse des e-fuels

Besoins pour un rendement énergétique de la chaîne de valeur de 45% en 2030. ***Perspectives d'évolutions technologiques permettant d'atteindre 55% à terme.***

Besoin électrique régionaux (TWh / an)

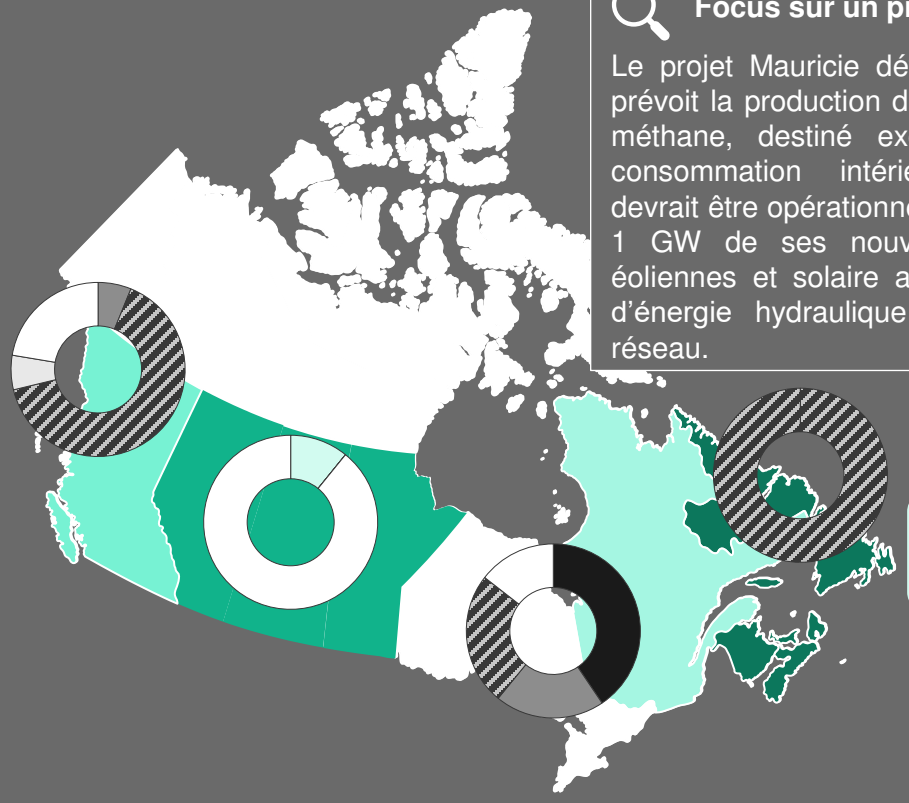
0
] 0 ; 5]
] 5 ; 10]
] 10 ; 15]
] 15 ; 20]
> 20

Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

Le Canada présente d'abondantes ressources en électricité bas-carbone, notamment hydraulique qui possède un haut facteur de charge. Le pays semble disposer de ressources suffisantes pour accompagner sa filière de production d'e-fuels, d'autant qu'il possède un important potentiel d'installation d'énergie solaire et éolienne. D'ici à 2030, d'après un scénario global Net 0 en 2050, le Canada prévoit d'ajouter environ 270 TWh d'énergie renouvelable, ainsi que l'augmentation de son potentiel nucléaire*.

Le prix de l'électricité au Canada est bas. Pour l'industrie, le coût a oscillé entre 3,6 et 9,6 ct€ par KWh en 2022, ce qui est particulièrement intéressant pour les producteurs d'e-fuels.



Focus sur un projet :

Le projet Mauricie développé par TES, prévoit la production de 149 ktep/an d'e-méthane, destiné exclusivement à la consommation intérieure. Le projet devrait être opérationnel en 2028 et tirera 1 GW de ses nouvelles installations éoliennes et solaire ainsi que 150 MW d'énergie hydraulique prélevée sur le réseau.

** Gouvernement du Canada*

Focus Canada – Besoins carbone

Sur la base des projets annoncés

Les émissions totales de gaz à effet de serre (GES) du Canada en 2021 s'élevaient **à 670 Mt** dont **28% pour les activités de l'exploitation pétrolière et gazière** et **22% pour les transports**. Avec certains des premiers projets à grande échelle au monde, **une géologie favorable**, **de la R&D de pointe** et **un environnement politique et réglementaire favorable** aux niveaux fédéral et provincial, le Canada se positionne comme un acteur clé de la gestion du CO_2. Environ **un septième des projets CCUS à grande échelle en cours dans le monde se trouvent au Canada*.**

Indicateurs

04

Besoin carbone des projets prévus

2,9 Mt / an

Remarques sur la lecture de l'indicateur

Le carbone est utilisé comme intrant, avec de l'hydrogène, pour la synthèse du e-méthane, de l'e-méthanol, l'e-kérosène, l'e-diesel et l'e-essence. La production d'e-ammoniac, ainsi que la part électro-sourcée des e-biofuels, ne comprend pas d'utilisation de carbone.

Besoin carbone régionaux (kt / an)

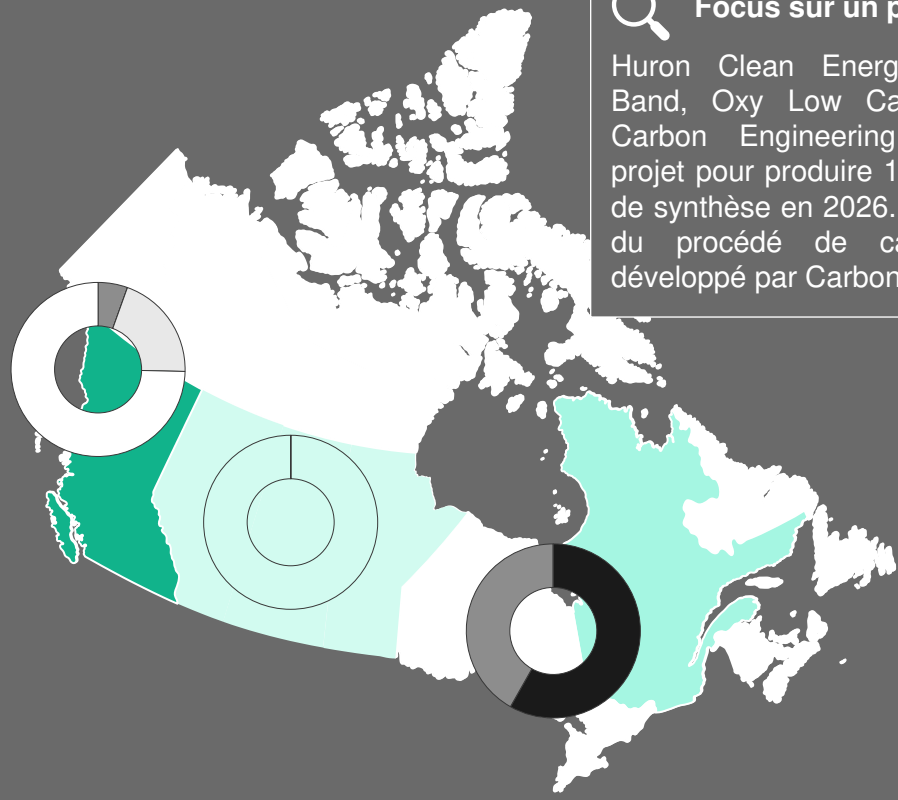
- 0
-] 0 ; 500]
-] 500 ; 1000]
-] 1000 ; 1500]
-] 1500 ; 2000]
- > 2000

Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

Dans le cadre du budget fédéral de 2023, le Canada a dévoilé des dispositifs de 12,5 Mds$CAD de subventions visant à couvrir jusqu'à 60% des CAPEX des projets de capture, transport et séquestration du carbone. Ces subventions, conjuguées aux systèmes de taxation du carbone, facilitent la création de modèles économiques rentables pour les porteurs de projets.

Un autre aspect important du budget de 2023 est l'introduction de contrats sur différence pour le carbone, offrant ainsi une visibilité aux porteurs de projets pour construire des modèles d'affaires. Le Fonds de croissance du Canada s'engage également à consacrer jusqu'à 7 Mrd$CAD à la mise en place de divers contrats sur différence.



Focus sur un projet :

Huron Clean Energy, Upper Nicolas Band, Oxy Low Carbon Ventures et Carbon Engineering développent un projet pour produire 100 Ml de carburant de synthèse en 2026. Le CO_2 proviendra du procédé de capture dans l'air développé par Carbon Engineering.

** IEA Database, 2023*

Focus Canada – Besoins hydriques • Sur la base des projets annoncés

La consommation en eau du Canada s'élevait à près de **36 000 Mm³ en 2019***. Elle est découpée en **92% d'utilisation par l'industrie** (principalement génération d'électricité, agriculture spécialisée et manufacture de pâtes et papiers)* et 8% pour les foyers et autres usages. C'est une ressource abondante sur le territoire. Surtout **disponible au Nord du pays**, elle est plus difficile d'accès au Sud où se trouve la densité de population la plus élevée. Le Canada fait également face à de nombreux défis de gestion dont des **investissements insuffisants dans l'infrastructure hydraulique** et une **gouvernance fragmentée** au niveau des lignes de partage des eaux.

Indicateurs

06 •

Besoins hydriques des projets prévus

8,3 Mm³ / an

Remarques sur la lecture de l'indicateur

- 8,3 Mm³ consommés
- 34,9 Mm³ prélevés et restitués (selon choix technologiques technologies)

L'électrolyse et la capture CO2 consomment de l'eau. L'eau de refroidissement des électrolyseurs et des équipements permettant la synthèse des e-fuels peut être restituée dans le milieu.

Besoin hydrique régionaux (Mm3 / an)

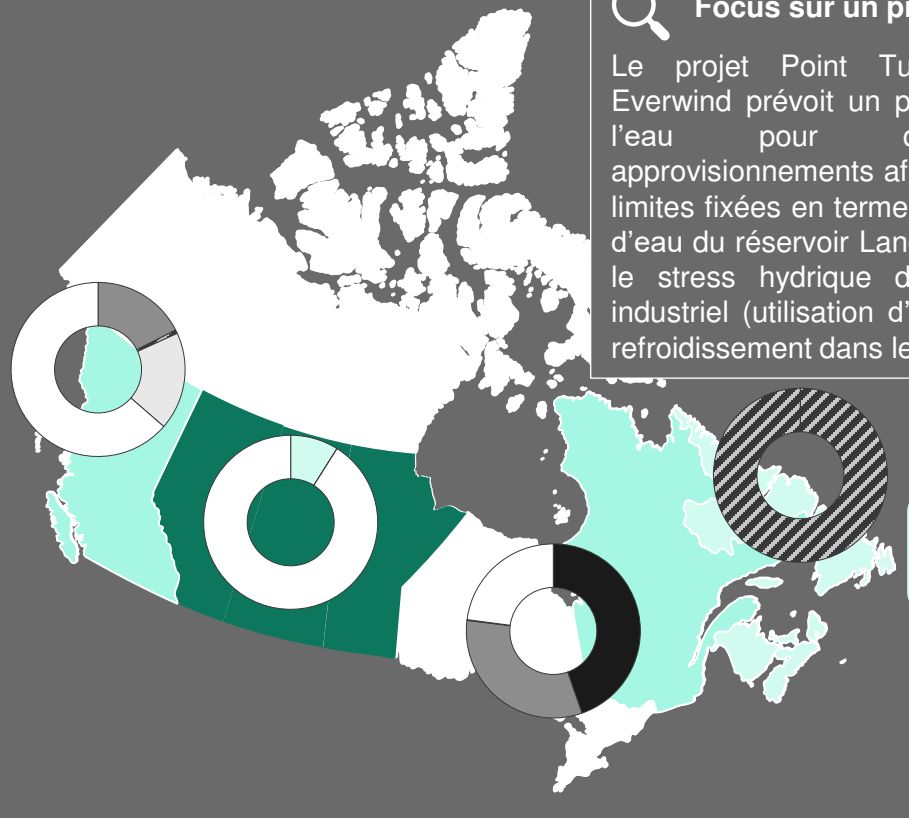
- 0
-] 0 ; 1]
-] 1 ; 2]
-] 2 ; 3]
-] 3 ; 4]
- > 4

Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

Le Canada possède d'importantes réserves en eau et l'approvisionnement de projets e-fuels en cette ressource n'apparaît pas comme un obstacle à leur développement tant qu'une gestion raisonnée garantissant sa disponibilité pour les autres usages essentiels est mise en place.

Plusieurs pistes de solutions d'infrastructures naturelles sont mises en place pour assurer une disponibilité de l'eau aux communautés locales des Prairies: il y a aujourd'hui 2,67 Mha de terres marécageuses restaurées et conservées et 7 études de faisabilité en cours pour des projets similaires sur l'ensemble du territoire (The State of Play Report for Natural Infrastructure on the Canadian Prairies 2023).



Focus sur un projet :

Le projet Point Tupper, porté par Everwind prévoit un plan de gestion de l'eau pour diversifier les approvisionnements afin de respecter les limites fixées en termes de prélèvements d'eau du réservoir Landrie Lake et limiter le stress hydrique du reste du parc industriel (utilisation d'eau salée pour le refroidissement dans le procédé).

** Statistique Canada (2019)*

Focus Canada – Besoins en financement

Sur la base des projets annoncés

Le Canada a publié en 2020 sa **stratégie hydrogène** partageant ainsi sa vision pour 2050, détaillant les ressources territoriales et les opportunités commerciales. Le pays vise une **production de 4 Mt/an** d'hydrogène à faible intensité carbonique à **horizon 2025-2030**. Cette production vient servir les objectifs fixés par le **Plan de réduction des émissions pour 2030** (-40% d'ici 2030) et le **Règlement sur les combustibles propres** de 2022 pour l'adoption de carburants durables. Plusieurs mécanismes financiers soutiennent ces démarches, notamment le **Clean Fuel Fund** ou les **Crédits d'impôts pour une économie durable et propre** (en réponse à l'IRA américain).

Indicateurs

07.

Besoin carbone des projets prévus

41 Mds€ / an

Remarques sur la lecture de l'indicateur

De nombreux projets ne communiquent pas leur niveau d'investissement ou n'ont pas encore atteint ce stade. Nous avons extrapolé les besoins en financement par comparaison avec des projets financés existants.

Besoin en financement régionaux (Mrd€ / an)

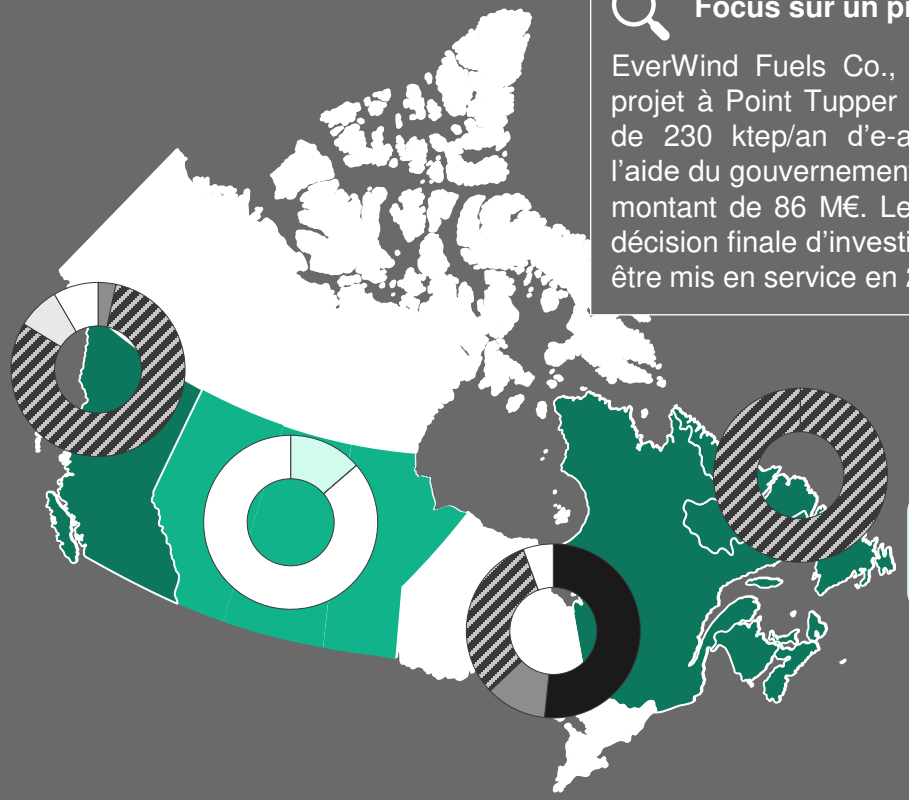
- 0
-] 0 ; 1]
-] 1 ; 2]
-] 2 ; 3]
-] 3 ; 4]
- > 4

Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

Jusqu'à présent seuls 3 projets sur les 18 annoncés ont fait l'objet d'une décision finale d'investissement. Pour autant, les récentes décision prises par le gouvernement Canadien, avec en toile de fond les annonces des Etats-Unis, peuvent apporter des opportunités de financement pour les projets.

Le Canada a développé tout une série de mesures complémentaires en faveur de la filière e-fuels : Programme d'innovation énergétique – carburants propres et remplacement des combustibles industriels, Stratégie de l'hydrogène, stratégie CCUS, norme sur les combustibles propres, Accélérateur net 0 du Fonds stratégique pour l'innovation… totalisant ainsi un montant de 46,02 Mds€ de mesures en faveurs des énergies propres.



Focus sur un projet :

EverWind Fuels Co., qui développe un projet à Point Tupper pour la production de 230 ktep/an d'e-ammoniac, a reçu l'aide du gouvernement canadien pour un montant de 86 M€. Le projet a passé la décision finale d'investissement et devrait être mis en service en 2025.

SIAPARTNERS

BUREAU FRANÇAIS des e-fuels

Observatoire international des e-fuels.

Février 2024

Partie 2.

Etat des lieux des dynamiques dans une sélection de pays

Amérique du nord

Fiche Etats-Unis

Focus Etats-Unis – Contexte général

Les Etats-Unis présentent un immense **potentiel pour la production d'e-fuels**. Ils disposent d'un gisement important d'électricité renouvelable à des prix compétitifs, variables selon les régions. L'industrialisation de filières de production de molécules décarbonées est une solution aux enjeux de décarbonation du secteur pétrochimique et gazier, tout en permettant au pays **de maintenir sa place de grand exportateur** de produits énergétiques et chimiques (3ème mondial de produits pétroliers et 7ème d'engrais). Le **soutien du gouvernement fédéral** au développement de hubs hydrogène pourra jouer un **rôle d'accélération d'un passage à l'échelle** de la filière.

Soutien et politiques publics

Industrial Decarbonization Roadmap (Sept 2022)* : Efforts concentrés sur les sur **5 industries** les plus émettrices de CO_2 (raffinage, chimie, fer et acier, ciment, aliments et boissons). **4 piliers** : rendement énergétique, électrification industrielle, fuels et énergie bas carbone et solutions CCUS.

Sustainable Aviation Grand Challenge (Sept 2021)* : **9,4 Mtep/an** de CAD, dont des e-fuels, en **2030**, avec un objectif de long terme de **100 % de CAD** dans le mix énergétique du secteur en **2050** soit **110 Mtep/an**

Plusieurs mesures sont en faveur de l'hydrogène propre, composante majeure des plans de décarbonations, dont :

- **Infrastructure Investment and Jobs Act (Nov 2021)* : 7 Mds$** pour des Hubs hydrogène régionaux dédiés à la décarbonation des secteur difficiles à décarboner.
- **Inflation Reduction Act (Août 2022)*** : Crédit d'impôt pour encourager le déploiement d'une production nationale d'hydrogène propre et jusqu'à 250 Mds$ de garanties de prêts à des projets de revalorisation d'infrastructures énergétiques permettant de réduire, utiliser ou séquestrer les GES.

Les projets e-fuels sont aussi éligibles à différents programmes de subvention de la décarbonation plus large s portant sur la R&D et la commercialisation de nouvelles technologies.

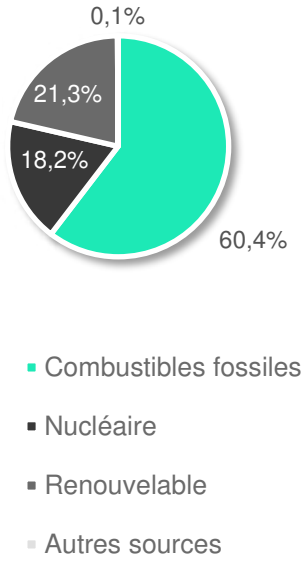
- 50 % des GES visée d'ici 2030

**Sur l'ensemble de l'économie*

0 émission visée en 2050

1$/kg coût cible d'$H_2$ décarboné en 2030

Mix énergétique de la production électrique aux Etats-Unis (EIA, 2022)



** U.S. Department of Energy*

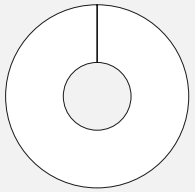
Focus Etats-Unis – Tableau de bord des indicateurs 2030

Capacités totales projetées en 2030

2 372 ktep/an

01 Capacité de production des projets en construction ou en activité

182 ktep / an

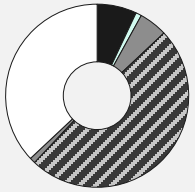


02 Capacité de production des projets avec FID

534 ktep / an

03 Capacité de production des projets à l'étude

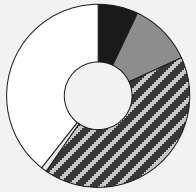
1 656 ktep / an



04 Besoin en électricité

66 TWh / an*

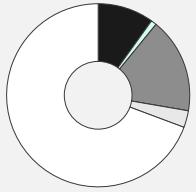
56 TWh : électrolyse de l'eau
10 TWh : synthèse des e-fuels



05 Besoin en carbone

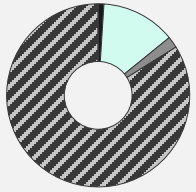
7 $MtCO_2$ / an

À capturer dans la biomasse ou l'industrie



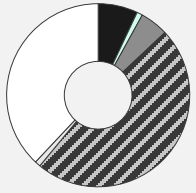
06 Besoin hydrique (eau consommée)

15 Mm^3 / an

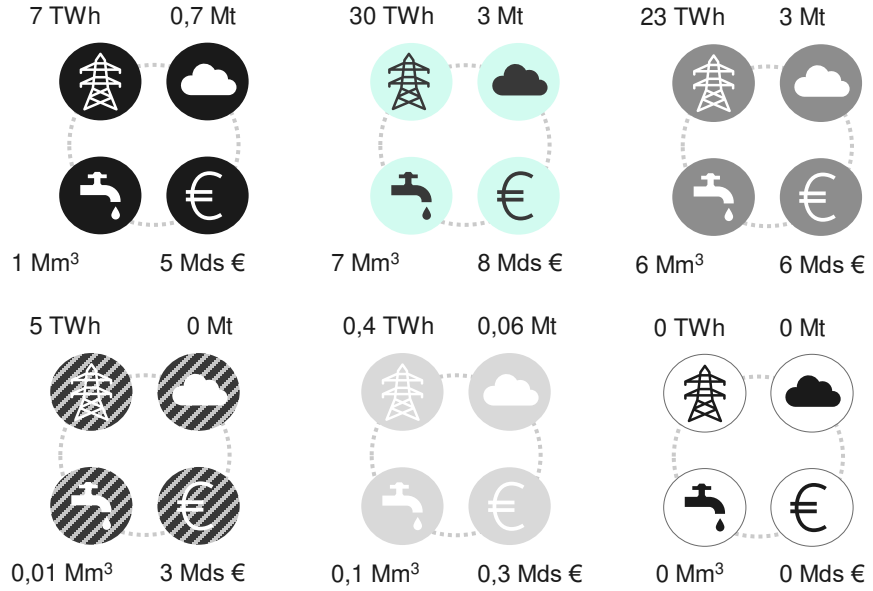


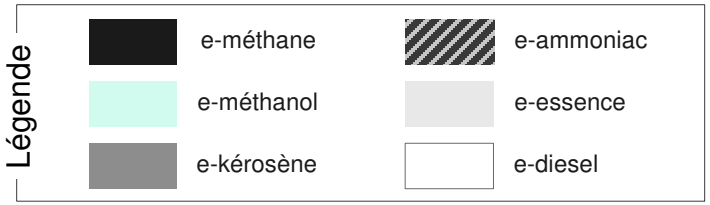
07 Besoin en financement

$23,8 B
Soit 22 Mds €



Quantités de ressources à mobiliser par molécule / an

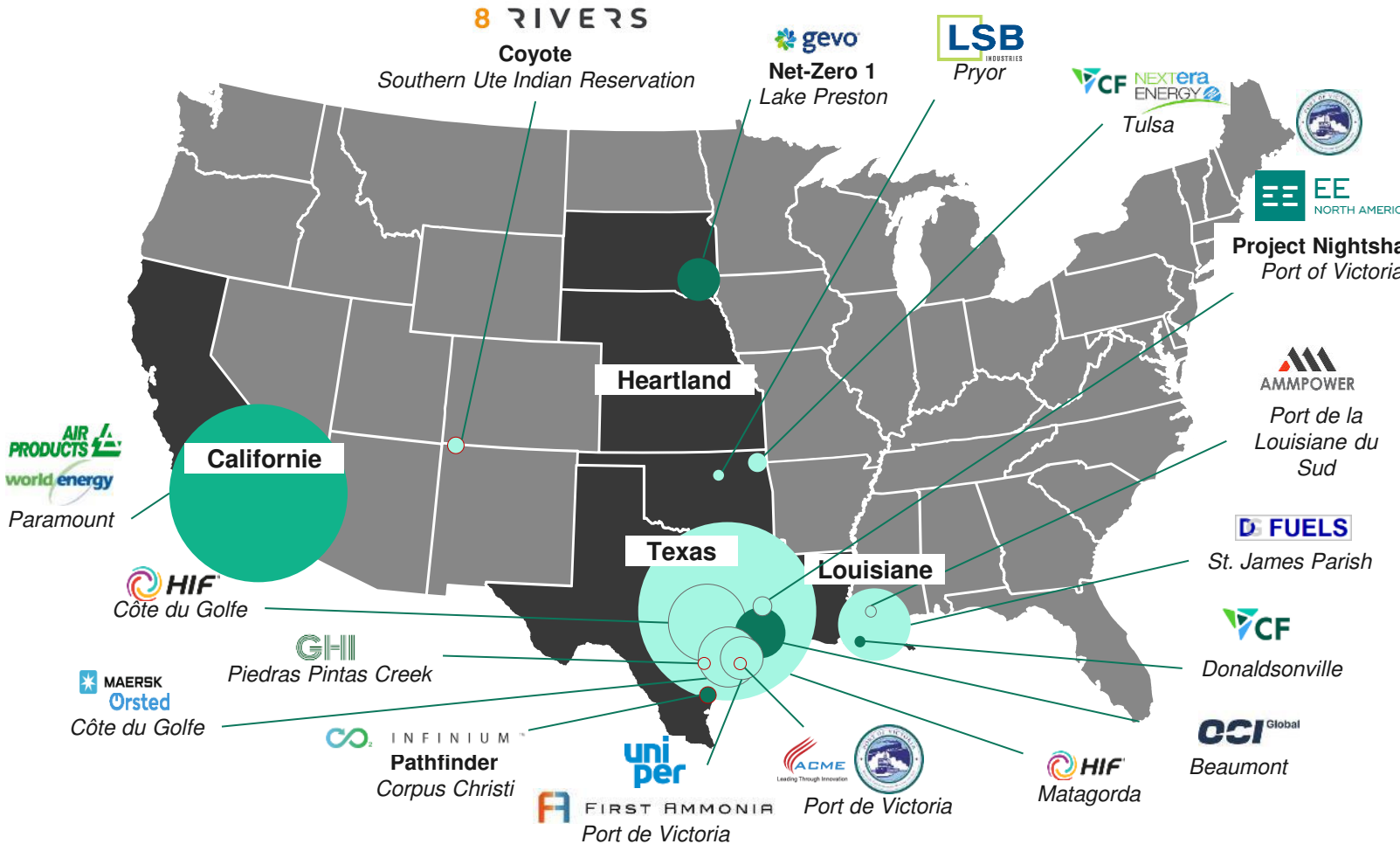




* Besoins en électricité : pour un rendement énergétique de l'ensemble de la chaîne de valeur de 45% en 2030. **Perspectives d'évolutions technologiques permettant d'atteindre des rendements de 55% à terme.**

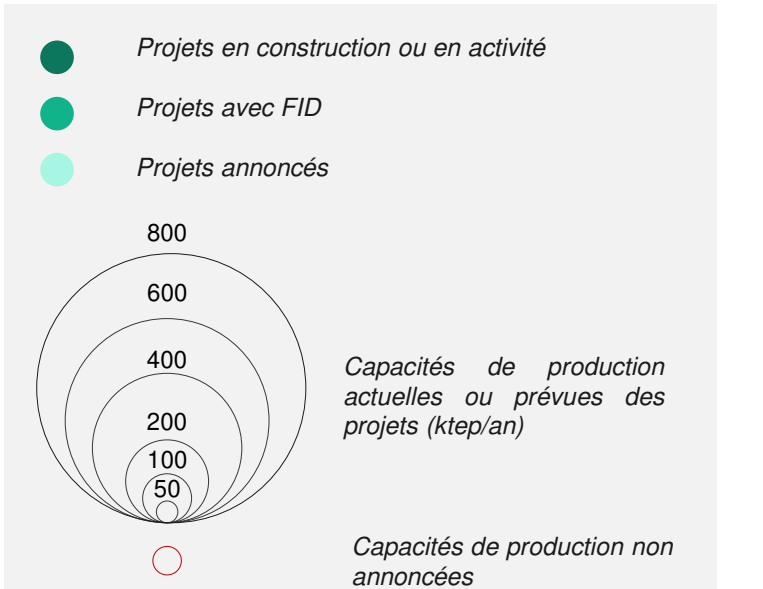
Focus Etats-Unis – Vue d'ensemble des projets annoncés publiquement

Nous recensons **21 projets** aux Etats-Unis, à divers stades d'avancement: **4 projets sont en construction ou en opération, 1 projet est actuellement FID et 11 projets sont à l'étude**. Parmi ces projets, 1 porté par Infinium ne communique pas encore les capacités de production envisagées ainsi qu'un projet de Hy2gen. L'ensemble des projets se concentrent sur 4 hubs, que nous prendrons comme sujet d'étude : **Hub Californien, le Hub texan, la Louisiane et le Hub Central (Heartland).** Les 4 projets dont la localisation n'est pas connue seront analysés ensemble.



4 projets dont la localisation est inconnue

HY2GEN · INFINIUM · TotalEnergies · TES · OSAKA GAS · MITSUBISHI MOTORS · TOHO GAS · SEMPRA · TOKYO GAS



Focus Etats-Unis – Acteurs

Jusqu'à 2019-2020, les Etats-Unis n'avaient pas développé de façon significative de projets de production d'e-fuels. La dynamique a rapidement été instaurée par de nouveaux purs players (HIF, Gevo, Infinium, DG Fuels, World Energy ou encore TES), suivi plus tardivement par les acteurs historiques du secteur, qui ont reçu le **soutien public et des celui d'acteurs technologiques** (Microsoft, filière des voitures électrique à batterie, Amazon). Les projets peuvent suffisamment se consolider pour passer FID, permettant ainsi aux **Etats-Unis de devenir un des leaders du secteur à ce jour.**

01. Construit et/ou actif

NET-Zero 1	Pathfinder	Beaumont	Donaldsonville
gevo	INFINIUM	OCI Global	CF
2026	2023	2025	2023
e-kérosène e-essence	e-kérosène e-diesel	e-méthanol	e-ammoniac

02. Financé

Paramount
world energy / AIR PRODUCTS
2025
e-kérosène

03. À l'étude

Matagorda	Louisiane	Pryor	Roadrunner		Gulf Coast	Tulsa	Coyote
HIF	AMMPOWER	LSB / Bloomenergy / thyssenkrupp	INFINIUM	ACME	MAERSK / Ørsted	CF / NEXTera ENERGY	8 RIVERS
2026	Non connu	Non connu	2026	Inconnu	2025	Non connu	Non connu
e-méthanol	e-ammoniac	e-ammoniac	e-kérosène	e-ammoniac	e-méthanol	e-ammoniac	Non connu
TotalEnergies / TES	OSAKA GAS / MITSUBISHI MOTORS / TOHO GAS / SEMPRA INFRASTRUCTURE / TOKYO GAS	HY2GEN	St. James Parish	GH	Gulf Coast	uniper / FIRST AMMONIA	Nightshade / EE NORTH AMERICA
Non connu	2029	Non connu	Non connu	Inconnu	2030	2026	Non connu
e-méthanol	e-méthane	e-méthanol	e-kérosène	e-ammoniac e-méthane	e-méthanol	e-ammoniac	e-methanol

* Certains projets développent plusieurs molécules et ont été comptabilisé pour chaque molécule, expliquant la différence entre la somme totale des projets par molécule et le total de projet annoncés.

Focus Etats-Unis – Capacité de production d'e-fuels

● Sur la base des projets annoncés

Sur l'ensemble des projets répertoriés à date, la production est estimée à **2 372 ktep/an d'ici 2030**. La plupart des projets sont encore **au stade de l'étude**, seulement 5 projets ont passé le stade FID, dont 4 déjà en construction ou en activité. Les perspectives de mises en service de l'ensemble des projets sont à **horizon 2025-2026**, sachant que **8 projets n'ont pas communiqué de date**. À noter que la construction d'une usine de production prend généralement 3 ans après qu'une décision finale d'investissement ait été prise.

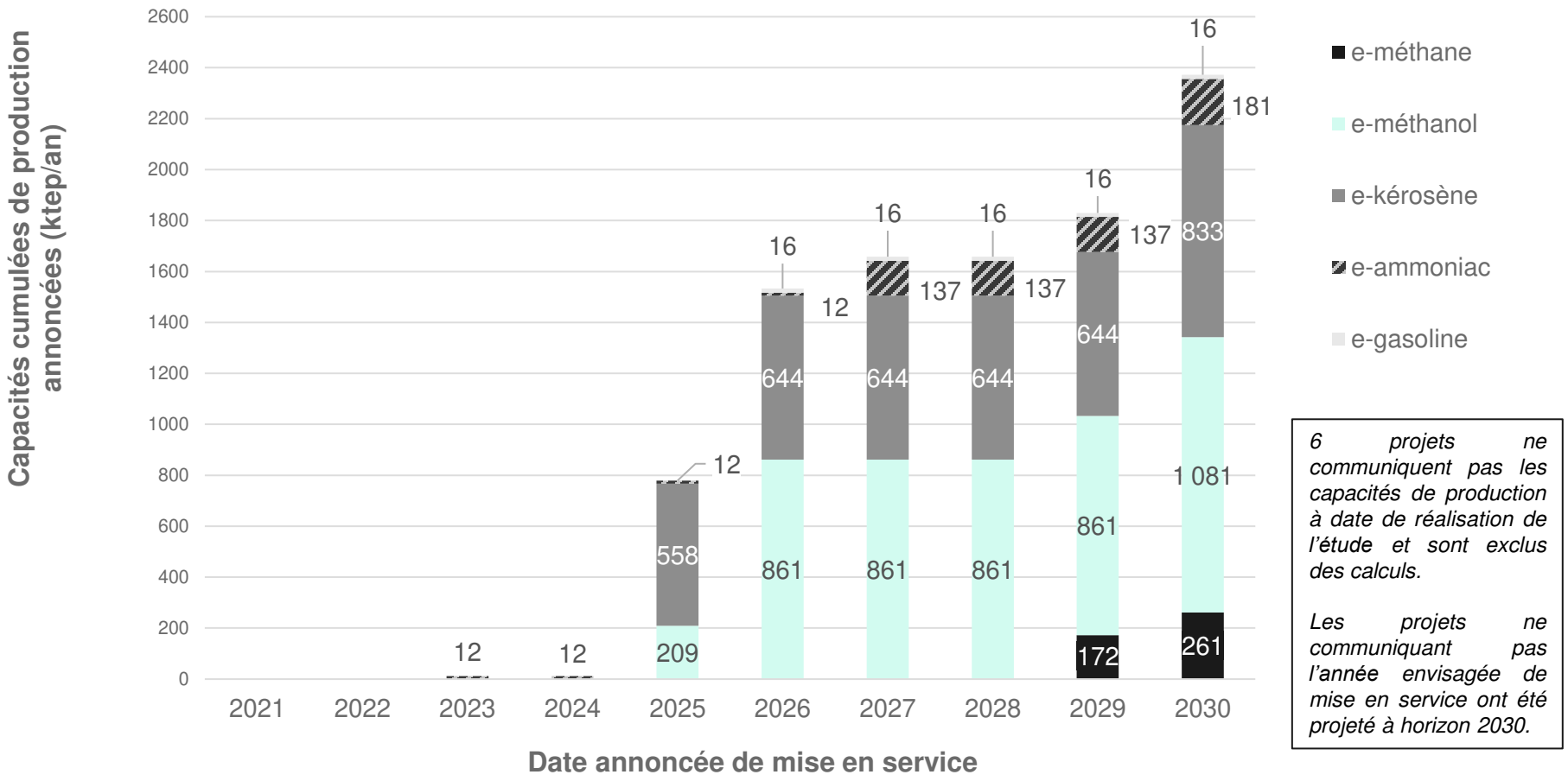
Indicateurs

01 **Capacités actives / En construction :** **182 ktep/an**

02 **Projets avec FID :** **534 ktep/an**

03 **Projets à l'étude :** **1 656 ktep/an**

	Capacité de production (ktep/an)	Nombre de projets
e-méthane	261	3
e-méthanol	1081	5
e-kérosène	833	5
e-ammoniac	181	7
e-essence	16	1
e-diesel	0	2
Total	**2 372**	**21**



6 projets ne communiquent pas les capacités de production à date de réalisation de l'étude et sont exclus des calculs.

Les projets ne communiquant pas l'année envisagée de mise en service ont été projeté à horizon 2030.

*Certains projets développent plusieurs molécules et ont été comptabilisé pour chaque molécule, expliquant la différence entre la somme totale des projets par molécule et le total de projet annoncés.

Focus Etats-Unis – Besoins en électricité

● Sur la base des projets annoncés

Les Etats-Unis, principal producteur d'électricité après la Chine, présente un mix électrique principalement dominé par l'utilisation des **énergies fossiles (60%).** La production d'électricité renouvelable a connu une **large croissance**, portée principalement par l'**éolien** avec une politique active sur le sujet. L'un des principaux moteurs de cette croissance est la **diminution des coûts d'installation**. Récemment favorisé par la mise en place de **crédit d'impôts avec l'Inflation Reduction Act**, le secteur est touché par les **taux élevés** et **l'inflation des coûts industriel**.

Indicateurs

04

Besoin électrique des projets prévus

66 TWh / an

Précisions sur la lecture de l'indicateur

- 56 TWh : électrolyse de l'eau
- 10 TWh : synthèse des e-fuels

Besoins pour un rendement énergétique de la chaîne de valeur de 45% en 2030. ***Perspectives d'évolutions technologiques permettant d'atteindre 55% à terme.***

Besoin électrique régionaux (TWh / an)

- 0
-] 0 ; 5]
-] 5 ; 10]
-] 10 ; 15]
-] 15 ; 20]
- > 20

Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

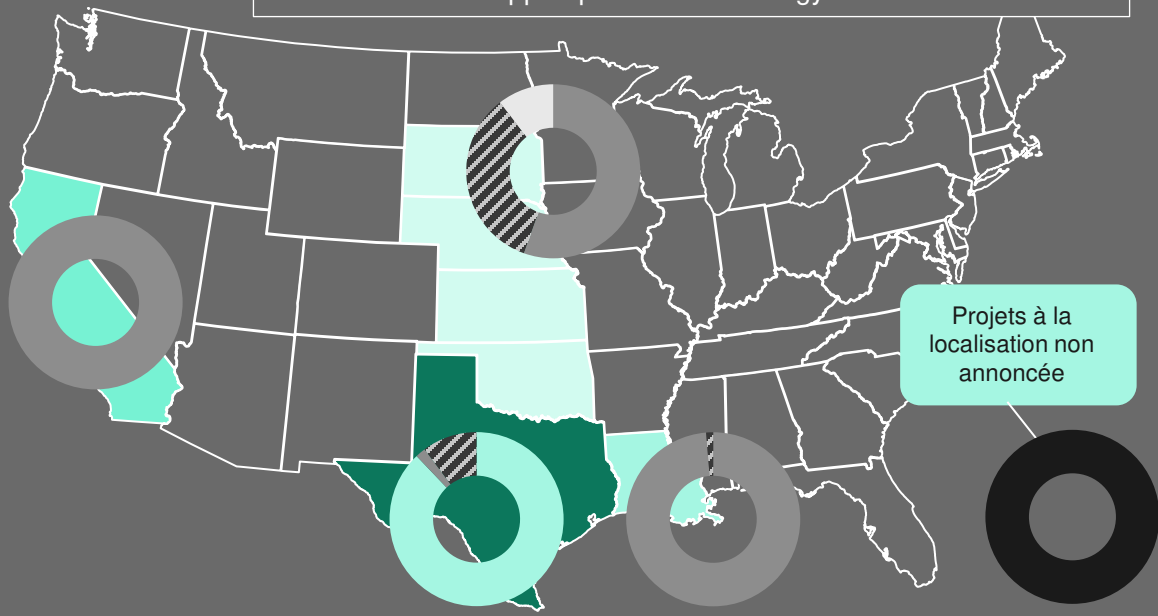
Fournir 66 TWh d'électricité bas-carbone représente un enjeu. Certains Etats accueillent un gisement important : le mix californien est composé de 42% de renouvelable et 9% de nucléaire. L'électricité texane provient à 25% de renouvelable et 8% de nucléaire.

Le prix de l'électricité renouvelable est relativement bas. En 2021, selon le rapport « Lazard's Levelized Cost of Energy » , le LCOE de l'électricité issu de l'éolien se situait entre 26 et 50 $/MWh et celui du solaire photovoltaïque entre 29 et 44 $/MWh.

Les augmentations des capacités de production pour 2030 sont centrées sur l'éolien et le solaire, le nucléaire ne devrait pas sensiblement évoluer, ce qui pose la question de la disponibilité d'une électricité à haut facteur de charge.

Focus sur un projet :

NextEra Energy et CF Industries s'allient sur un projet d'installation électrolyse de 100 MW au sein du complexe Verdigris (Tulsa, Oklahoma) de ce dernier. Le projet vise à produire 62 ktep/an et sera alimenté par une installation dédiée à l'énergie renouvelable de 450 MW développée par NextEra Energy Resources.



Focus Etats-Unis – Besoins carbone

● Sur la base des projets annoncés

Les États-Unis ont totalisé **5 769 $Mt_{eq}CO2$ en émissions de GES**, dominées par le CO_2 (79%)*. Les émissions de GES sont liées à trois sources majoritaires : le secteur des transports (27%), de la production d'électricité (25%) et de **l'industrie (24%)*.** Les technologies de captage des émissions des secteurs industriels non ou difficilement électrifiables (exemple : cimenterie, sidérurgie) existent, mais peuvent se révéler couteuses selon les sources de CO_2 concernées et n'ont pas fait leurs preuves à grande échelle en dehors de cas d'application sur des fumées naturellement fortement concentrées (exemple : sites de production de bioéthanol).

Indicateurs

05.

Besoin carbone des projets prévus

7 Mt / an

Remarques sur la lecture de l'indicateur

Le carbone est utilisé comme intrant, avec de l'hydrogène, pour la synthèse du e-méthane, de l'e-méthanol, l'e-kérosène, l'e-diesel et l'e-essence. La production d'e-ammoniac, ainsi que la part électro-sourcée des e-biofuels, ne comprend pas d'utilisation de carbone.

Besoin carbone régionaux (kt / an)

- 0
-] 0 ; 500]
-] 500 ; 1000]
-] 1000 ; 1500]
-] 1500 ; 2000]
- > 2000

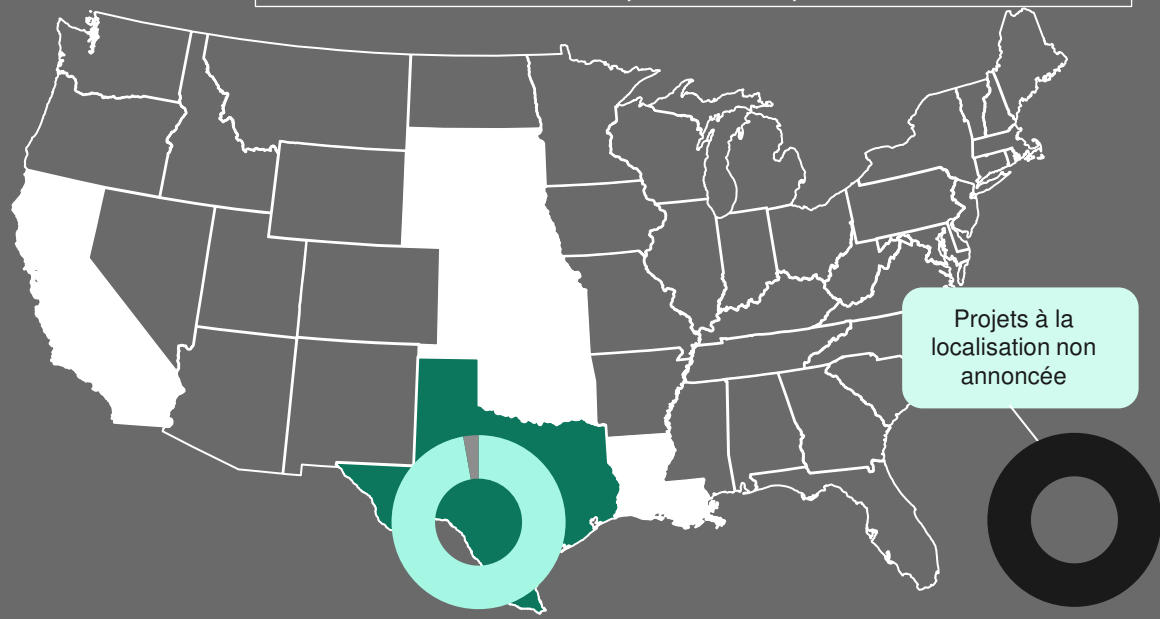
Part du besoin par e-fuel

- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

Les Etats-unis présentent d'importants gisements de CO_2 biogénique dont la répartition sur le territoire suit les hubs hydrogène. Selon les régions où sont situés les projets prévus, l'origine du CO_2 biogénique doit principalement provenir de la production d'éthanol (Midwest), des cimenteries (Texas et Midwest) ainsi que de la production de pâtes à papier et papiers (Gulf Coast)**. La production d'éthanol représente un gisement de CO_2 biogénique particulièrement concentré (80-90%). Selon la Renewable Fuels Association, environ 2,7 Mt de CO_2 ont été émis par la production d'éthanol aux US en 2021. Avec 187 usines d'éthanol, le pays dispose d'un potentiel captable d'environ 44 Mt/an.

Focus sur un projet :

Infinium et Navigator CO_2 ont signé en 2023 un MoU pour l'approvisionnement de 600 kt/an de CO_2 biogénique du projet Pathfinder. Le projet de pipeline Heartland Greenway a cependant été annulé en raison du rejet de sa demande de permis et de la résistance des résidents, inquiets des risques en cas de fuite.



** EPA : United States Environmental Protection Agency ** Capture Map*

Focus Etats-Unis – Besoins hydriques

Sur la base des projets annoncés

L'utilisation industrielle de l'eau varie d'un secteur à l'autre, car différentes activités nécessitent divers apports en eau. La consommation d'eau annuelle des Etats-Unis provient majoritairement de **8 postes** : l'approvisionnement public (54 Mds m³), l'approvisionnement domestique (4,5 Mds m³), l'irrigation (163 Mds m³), le bétail (2,8 Mds m³), l'aquaculture (10 Mds m³), l'industrie (20 Mds m³), l'exploitation minière (5 Mds m³) et la production d'énergie thermoélectrique (184 Mds m³)*. **Les besoins hydriques des projets prévus n'auront pas d'impact significatif sur les tensions autour des usages de l'eau, hors contextes locaux très particuliers.**

Indicateurs

06. **Besoins hydriques des projets prévus**

15 Mm³ / an

Remarques sur la lecture de l'indicateur

- 15 Mm³ consommés
- 24 Mm³ prélevés et restitués (selon choix technologiques technologies)

L'électrolyse et la capture CO2 consomment de l'eau. L'eau de refroidissement des électrolyseurs et des équipements permettant la synthèse des e-fuels peut être restituée dans le milieu.

Besoin hydrique régionaux (Mm3 / an)

- 0
-] 0 ; 1]
-] 1 ; 2]
-] 2 ; 3]
-] 3 ; 4]
- > 4

Part du besoin par e-fuel

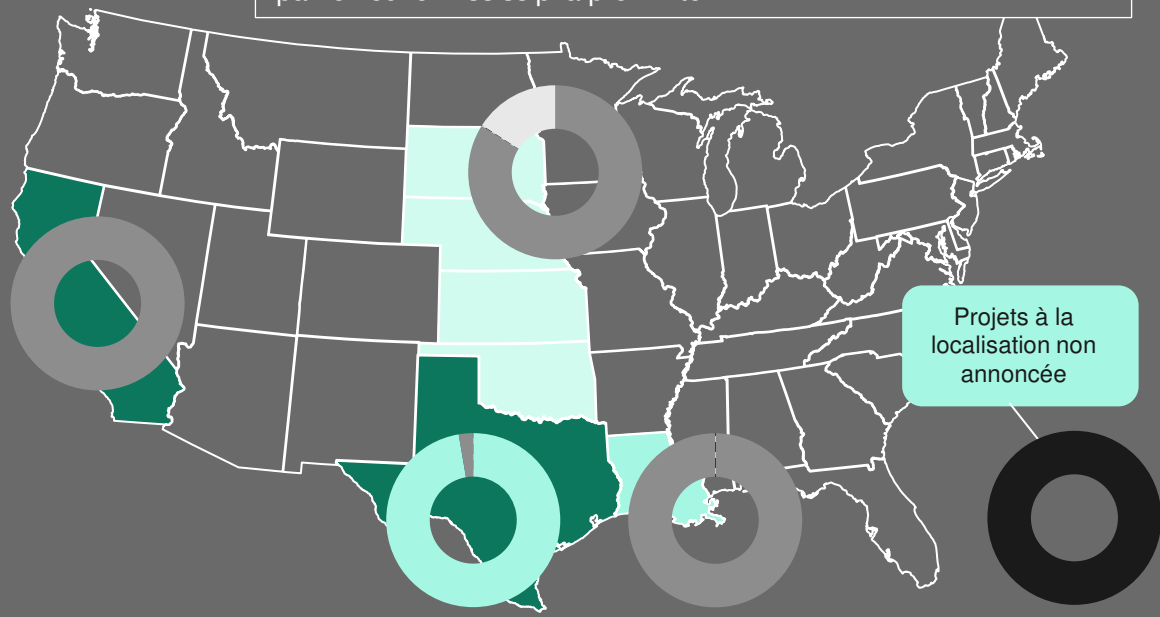
- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

Le besoin hydrique de la production d'e-fuels ne devrait pas excéder celle de la production de fuel conventionnel ou être problématique à un niveau national. Comparé à d'autres usage, le besoin en eau reste relativement faible. Selon les données fournies par l'US Geological Survey (USGS) en 2015, l'industrie de la pâte, du papier et des produits connexes aux États-Unis a utilisé environ 22,3 Mds L/jour soit 8,1 Mds m3/an.

Cependant certains territoires sont déjà considérés en stress hydrique important comme la Californie. L'apparition de nouveaux usages pourra être contestée, notamment par les populations locales et les autres usagers.

Focus sur un projet :

Le projet mené AmmPower, destiné à s'implanter dans le port de la Louisiane du Sud, devrait produire 2 480 tep/an d'e-ammoniac, destiné à décarboner le secteur maritime. La technologie utilisée présente un besoin en eau de 21,2 L/min qui pourra être assuré par le fleuve Mississipi à proximité.



** USGS : Institut d'études géologiques des Etats-Unis*

Focus Etats-Unis – Besoins en financements

● Sur la base des projets annoncés

Le développement de solutions de carburants alternatifs, incluant les e-fuels, est un pilier de l'Industrial Decarbonization Roadmap et du Sustainable Aviation Grand Challenge. Le DOE* a annoncé en 2023 un financement de **6 Mrd$** pour accélérer les projets de décarbonation dans les industries à forte intensité énergétique, en particulier **260 M$ dans la R&D** et **135 M**$ fléchés sur **40 projets de réduction d'émissions**. L'entité propose aussi des **garanties de prêt** à hauteur de **3 Mrds$** pour des projets commerciaux de CAD**. L'objectif est de fournir aux fabricants américains un avantage concurrentiel dans l'économie mondiale émergente de l'énergie propre.

Indicateurs

07 ●

Besoins en financement des projets prévus

22 Mds €

Remarques sur la lecture de l'indicateur

De nombreux projets ne communiquent pas leur niveau d'investissement ou n'ont pas encore atteint ce stade. Nous avons extrapolé les besoins en financement par comparaison avec des projets financés existants.

Besoin en financement régionaux (Mrd€ / an)

- 0
-] 0 ; 1]
-] 1 ; 2]
-] 2 ; 3]
-] 3 ; 4]
- > 4

Part du besoin par e-fuel

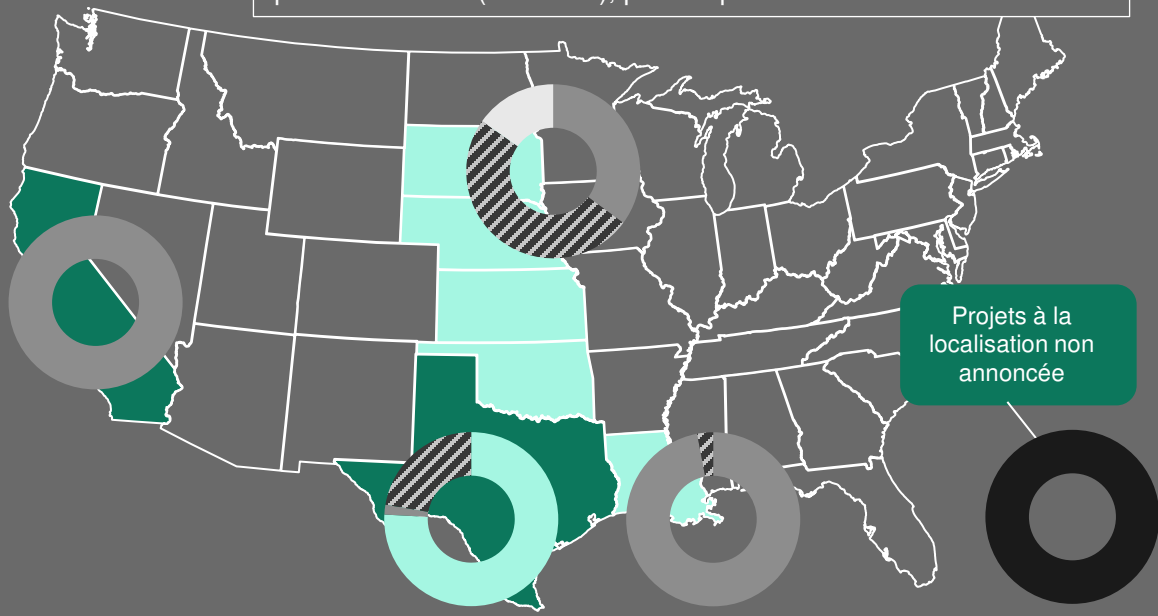
- e-méthane
- e-méthanol
- e-kérosène
- e-ammoniac
- e-essence
- e-diesel

Peu de projets annoncés sont déjà en activité, en construction, ou bien même ont atteint une décision finale d'investissement (5/21). Les hubs de production n'affichent pas les mêmes échelles de financement qui peuvent aller de 1,5 Mds€ pour la Louisiane (2 projets) à 10 Mds€ pour le Hub de la Côte du Golfe / texan (11 projets).

Malgré des coûts d'investissement et de production élevés, les financements annoncés par le gouvernement peuvent rendre un modèle d'affaires positifs. La conversion d'anciens sites très émetteurs ou le développement de technologie permettant de réduire les émissions les rendent en effet éligibles aux programmes de financement du gouvernement ou du Département de l'Energie.

Focus sur un projet :

Le projet Matagorda développé par HIF Global souhaite produire 1 336 ktep d'e-methanol d'ici 2027, devenant le plus gros site de production au monde. Le financement s'élève à 6 Mds$. Aucun acheteur potentiel n'est connu, au contraire de l'autre site opéré par HIF au Chili (Haru Oni), pour lequel Porsche s'est manifesté.



** DOE : Department of Energy* *** CAD : Carburant d'aviation durable*

Partie 3 : Comparaison inter-pays

Organisation des filières

Les filières e-fuels en Europe et en Amérique du Nord se structurent différemment. **Si chaque pays développe une politique P-t-X (hydrogène et/ou e-fuels), les visions environnementales affichées sont pour autant différentes**. Avant tout grands producteurs et consommateurs de gaz, les Etats-Unis et le Canada n'excluent pas la production d'hydrogène bleu et son utilisation pour des projets e-fuels. Plus globalement, contrairement aux autres zones géographiques positionnées sur la production d'e-ammoniac, **l'Europe et l'Amérique du Nord se concentrent davantage sur une production d'e-fuel mobilisant du carbone**.

Principales typologies d'acteurs*	Dévelop-peurs EnR 73%*	Armateur 46%*	Energé-ticiens 51%*	Pure players 73%	Pure Players 49%*
Molécules développées	65% e-méthanol 21% e-ammoniac	87% e-méthanol 11% e-ammoniac	46% e-méthanol 53% e-kérosène	62% e-ammoniac 26% e-diesel	46% e-méthanol 35% e-kérosène
Marchés visés	Consommation intérieure Exportation de l'expertise	Transport intérieur Exportation de fuels maritime	Transport intérieur Exportation de produits dérivés de l'hydrogène	Transport et engrais intérieurs Exportations évoquées	Industrie et transports intérieurs (malgré des stratégies de décarbonation axées autour des biocarburants)
Sources d'énergies utilisées pour la production d'hydrogène	Approvisionnement en électricité renouvelable dédiée	Approvisionnement en électricité renouvelable dédiée	Mix électrique électricité 100% renouvelable visé en 2040	Approvisionnement en électricité renouvelable dédiée Quelques projets incluant de l'hydrogène bleu**	Approvisionnement en électricité renouvelable dédiée Quelques projets incluant de l'hydrogène bleu**

** Part des capacités de projets dans lesquelles des typologies d'acteurs se positionnent, sur les capacités totales en projet*

*** Projets e-fuels basés sur une valorisation d'hydrogène bleu non présentés dans les fiches pays*

Réseaux d'acteurs

Des **associations nationales se sont structurées** en Europe pour regrouper les acteurs des chaînes de valeur de l'hydrogène et des e-fuels (ex : AeH2 en Espagne), avec des capacités inégales de mobilisation des principales parties prenantes dans leur diversité.

Le Danemark semble se démarquer par de fortes synergies entre les différents acteurs nationaux de la chaine de valeur (R&D, développement commercialisation, consommateurs).

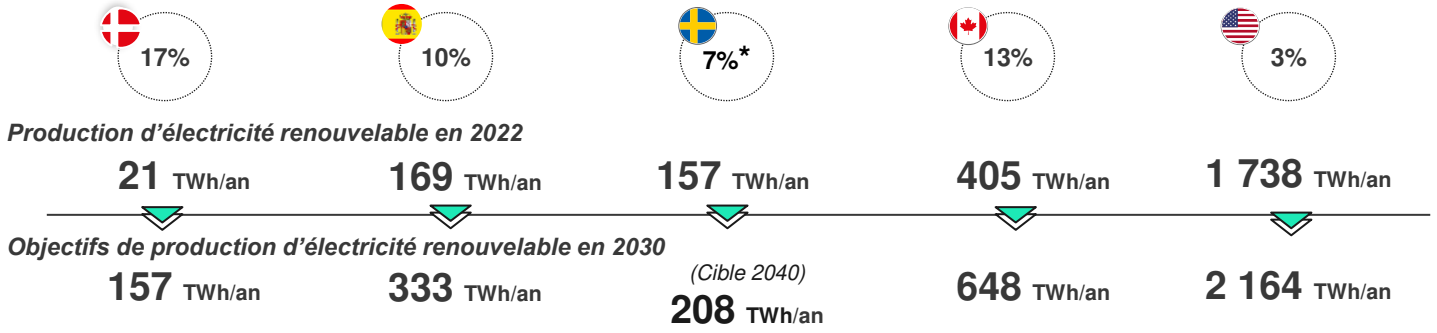
En Suède, l'initiative gouvernementale Fossil Free Hydrogen vise à créer synergies entre acteurs publics et privés. La stratégie publique hydrogène s'inspire directement d'une feuille de route élaborée par cette structure.

Aux **Etats-Unis, la filière hydrogène est organisée en différentes associations hydrogène nationale (FCHEA) et propre à différents Etats.**

Les besoins en électricité décarbonée

Les besoins de la filière e-fuels en électricité décarbonée représentent des **volumes significatifs devant être anticipés par les pouvoirs publics et les acteurs industriels**. Les pays étudiés possèdent de forts potentiels d'accroissement de leurs productions d'électricité renouvelable, aujourd'hui privilégiée par les porteurs de projets. L'intermittence de ces moyens de production pose néanmoins la problématique de la diversité des sources d'approvisionnement, sachant que les modèles d'affaires des électrolyseurs se basent sur de hauts facteurs de charge (>90%) et que la variabilité de la charge dégrade et fait vieillir prématurément les électrolyseurs.

Part des besoins en électricité des projets e-fuels annoncés, par rapport aux projections 2030 des volumes de production d'électricité renouvelable et nucléaire prévues par les pouvoirs publics*



Quelles énergies envisager ?

Le **solaire et l'éolien** représentent les sources d'énergies sur lesquelles les efforts d'investissements et de développement vont se concentrer pour l'ensemble des pays étudiés, avec également un effort prévu au Canada sur la hausse de la production **hydroélectrique** (+15% d'ici 2030).

D'ici 2030, l'installation de capacités totale solaires et éolien prévues pour l'Espagne sont de 76GW et 62 GW, 12,8 et 32,1 GW pour le Danemark et au total 444 GW pour les Etats-Unis.

La Suède, qui vise un mix électrique 100% décarbonée d'ici 2040, mise avant tout sur l'éolien avec la production de 120 TWh de nouvelles capacités éoliennes.

Le mix Canadien ne devrait pas évoluer de façon significative d'ici 2030, même avec l'augmentation des capacités éolienne, solaire et hydraulique. Le gaz naturel devrait toujours constituer une part significative du mix électrique (16%).

Quels rendements énergétiques demain ?

Un rendement énergétique total de 45% peut être anticipé pour les premiers projets industriels. **Une amélioration de ce rendement de 10 points est envisageable à terme** avec l'amélioration des techniques et l'intégration de nouvelles briques technologiques, dont l'électrolyse haute température.

Quelques projets se positionnent d'ores et déjà pour le déploiement de l'électrolyse haute température et/ou la co-électrolyse de l'eau et du CO_2 (projet Green Meiga en Espagne ; projet First Ammonia-Uniper aux Etats-Unis).

Quelle place pour le nucléaire ?

Les positionnements sur la place du nucléaire dans les mix électriques varient selon les pays. L'Espagne et le Danemark ont **arrêté son utilisation**, et l'Espagne s'oppose au niveau européen à sa considération comme levier de décarbonation. La Suède a une **position plus ambivalente en raison des divergences** de ses deux grands blocs politiques. Les Etats-Unis et le Canada assument des **politiques pro-nucléaires** et investissent dans les SMR** et réacteurs avancés.

De manière générale, les porteurs de projets e-fuels de l'ensemble de ces pays tendent à communiquer sur une valorisation d'électricité renouvelable.

** Indicateur pour la Suède : avec hypothèse d'une progression linéaire de la production d'électricité renouvelable entre 2022 et 2040*

*** SMR : Small Modular Reactor*

Soutien public apporté

Au regard des ambitions de production affichées par les acteurs dans l'ensemble des pays, les **montants des programmes de financement apparaissent relativement faibles**. Malgré un soutien fort pour la filière hydrogène, **l'absence de politiques spécifiques dédiées aux e-fuels peut être notée (voir Partie 1)**. Seul le Danemark se distingue avec un unique appel d'offres réalisé en 2023 d'un montant de 170 M€. **L'Europe se démarque néanmoins par des obligations réglementaires** pesant sur les consommateurs de carburants dans certains secteurs, au contraire de **l'Amérique du Nord qui privilégie l'encouragement ou l'adoption des biofuels.**

Stratégies de développement

Seul le **Danemark** a publié une **stratégie spécifique** au développement de la filière e-fuels et les perspectives de marché. L'Espagne, la Suède, le Canada et les Etats-Unis ont, quant à eux, publié des stratégies liées à l'hydrogène pour identifier les secteurs clés d'application et définir des objectifs de développement des capacités d'électrolyse.

Le lien entre public et privé dans le cadre du développement des projets est variable.

- Le gouvernement espagnol a signé en 2022 un protocole de collaboration avec Maersk pour explorer les opportunités de production d'e-méthanol à grande échelle (budget total envisagé de 10 Mds€)
- Le Danemark et la Suède, ont une longue traduction de dialogue entreprise – syndicat – Etat, facilitant la coordination.
- Les Etats-Unis et Canada fixent des ambitions et un cadre réglementaire concernant la production de fuels propres et proposent des financements associés.

Part des besoins en financement des projets recensés par rapport aux enveloppes de soutien prévues pour les filières hydrogène et e-fuels*

	22%	15%	NC	NC	32%
Nombre de projets avec FID	**5 / 14 projets**	**0 / 13 projets**	**1 / 8 projets**	**3 / 19 projets**	**5 / 21 projets**

Nature des financements et mécanismes associés

En Espagne, les financements sont distribués par **appel d'offres au sein de différents programmes** (H2 pioneros, H2 Cadena de Valor), pour un total de **1,6 Mds €**.

La Suède dispose depuis 2015 et 2018 de 2 **programmes de financement sur candidature** (Climate Leap et Industrial Leap), pour un total de **1,1 Mds €. Aucun financement n'est dédié à des projets hydrogène ou e-fuels**.

Le Danemark **mélange différents schémas d'investissement** entre son programme de financement EUDP pour des technologies vertes, Mission Green Fuel financée par le fond d'innovation et l'appel d'offres PtX en 2023. Le montant des investissements proposé s'élève à **2,5 Mds €**.

Les Etats-Unis proposent différents programmes de subvention auxquels peuvent prétendre les projets e-fuels ainsi qu'un paquet de mesures protectionnistes (IRA) garantissant des réductions d'impôts et prêts. L'Infrastructure Investment and Jobs Act flèche **7 Mds$ de subvention pour des hubs hydrogènes** répartis sur le territoire.

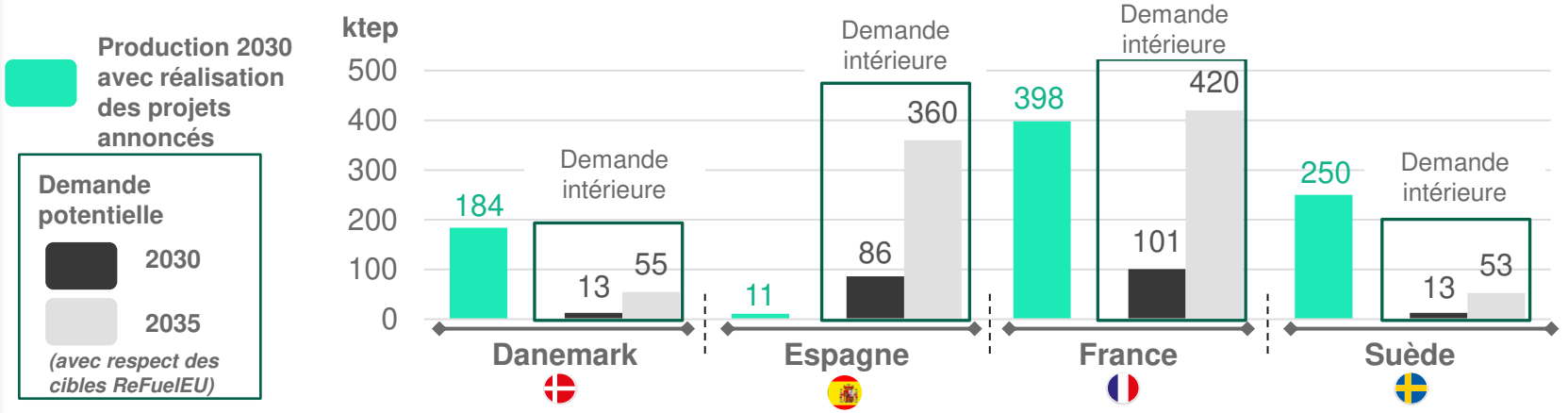
En réponse à l'IRA le Canada a annoncé des crédits d'impôts pour promouvoir les énergies vertes. Le pays a aussi mis en place 2 fonds de financements auxquels peuvent faire appel les projets e-fuels : Net-Zero Accelerator et le Clean Fuel Fund. Pour autant, **aucun financement n'est particulièrement adressé à l'hydrogène ou aux e-fuels**.

** Prise en compte uniquement des subventions fléchées sur des projets e-fuels ou hydrogène. NC : pays n'en proposant pas.*

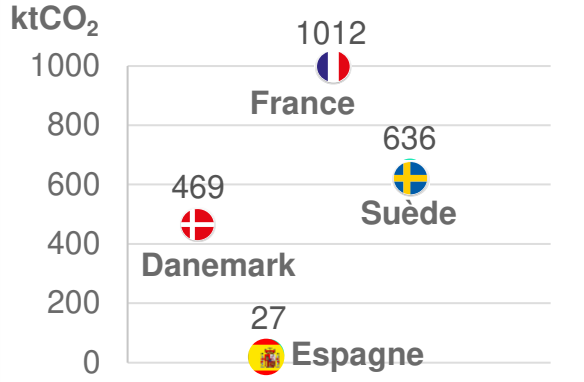
Une position de leader dans la production d'e-kérosène à affirmer par la France, pour réussir la décarbonation de son secteur aérien et devenir exportatrice

Les capacités des projets de production d'e-kérosène annoncés en France se révèlent légèrement inférieures à ses besoins pour atteindre les objectifs du règlement européen ReFuelEU (voir Partie 1) à horizon 2035. **En encourageant la réalisation des projets annoncés et le développement de nouveaux, la France pourrait non seulement devenir autosuffisante pour les besoins en e-kérosène de son secteur aérien, mais également exporter sa production vers d'autres pays européens.**

Demande nationale estimée en e-kérosène en 2030 et 2035 pour atteindre les objectifs ReFuelEu et production d'e-kérosène projetée en 2030 sur la base des projets annoncés*



Volume minimal d'émissions de CO_2 évitables en cas de réalisation des projets annoncés***



*Hypothèses de travail retenues

- Mise en œuvre des cibles d'incorporation de parts croissantes d'e-kérosène dans l'offre des distributeurs (cf : RefeuEU) et respect des cibles d'émissions de CO_2 évitées.
- Demande en carburant d'aviation constante entre 2019** et 2035 : Trafic aérien constant, pas de progrès dans le domaine de l'efficacité énergétique, pas d'impact de l'obligation faite par le règlement ReFuelEU d'approvisionner les avions dans les aéroports européens à hauteur de 90% de ce qui est requis chaque année
- Pas de développement de l'hydrogène dans le mix énergétique du secteur aérien.

*** Source des valeurs de consommation d'e-kérosène par pays en 2019 : Eurostat*

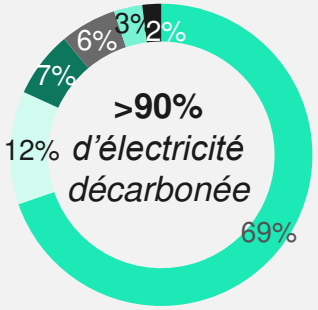
*** Hypothèses de travail retenues

- Réduction des émissions de 70% par rapport au kérosène fossile sur l'ensemble du cycle de vie de l'e-kérosène, en cohérence avec les exigences européennes concernant la comptabilisation des carburants synthétiques dans l'atteinte des cibles réglementaires

Vision comparative – Eléments différenciant de la France

La France poursuit de fortes ambitions concernant le développement de projets e-fuels, avec une capacité totale des projets annoncés de 672 ktep. **Elle possède des atouts pour faire émerger d'ici quelques années des projets de taille industrielle apportant une réponse aux cibles européennes de développement des e-fuels**, notamment dans le secteur aérien pour lequel la contribution d'e-fuels décarbonés est reconnue par le droit européen.

Un mix électrique d'ores et déjà fortement décarboné en base



Mix électrique de la France en 2021
(Bilan électrique 2021 de RTE)

- Nucléaire
- Hydraulique
- Eolien
- Gaz naturel
- Solaire
- Autres (charbon, fioul)

Le contenu carbone de l'électricité française (19,6 gCO_2/MJ) est le plus faible en Europe, avec la Suède (3gCO_2/MJ). Il est par exemple de 54,1g CO_2/MJ en Espagne. La disponibilité d'une électricité nucléaire décarbonée en base facilitera la continuité de fonctionnement des projets.

Une électricité décarbonée mobilisable, à condition d'anticiper les besoins de la filière

Capacité des projets annoncés pour 2030 :
672 ktep/an

Besoins en électricité décarbonée :
17,5 TWh/an

- **3% de la production d'électricité décarbonée projetée pour 2030**
- **9% de la production d'électricité renouvelable projetée pour 2030**

Avec valeurs de la Stratégie Française Energie Climat mise en consultation en novembre 2023

Loin de s'opposer, les différents leviers de décarbonation des industries et des mobilités apparaissent complémentaires. A ce titre, un effort de sobriété devra être mené en parallèle du développement des e-fuels, permettant de minimiser les besoins de la filière en ressources.*

Un tissu d'acteurs complémentaires pour structurer une nouvelle chaîne de valeur

Consommateurs et fabricants d'équipements avec une présence mondiale

Industriels — *Aviation* — *Maritime*

Energéticiens et producteurs d'hydrogène

Acteurs mondiaux historiques — *Pure player H2 ou e-fuels*

Développeurs de technologies

Electrolyseurs basses et hautes températures — *Solutions pour le captage de CO2*

Genvia porte un projet de gigafactory d'électrolyseurs à haute température à Béziers (Hérault). Cette technologie pourra permettre à terme d'atteindre des rendements énergétiques de 55% sur l'ensemble de la chaîne de valeur des e-fuels.

* Sur les enjeux de sobriété : voir notamment le rapport ADEME *Electro-carburants en 2050 : Quels besoins en électricité et CO2 ?* publié en 2023 et évaluant les besoins en ressources pour permettre aux e-fuels de devenir des leviers de décarbonation des secteurs maritime et aérien. Un scénario énergivore « haut » évalue les besoins en électricité à 175 TWh, tandis qu'un scénario intégrant des leviers de sobriété des usages aboutit à une estimation des besoins compris entre 44 et 68 TWh.

Quels avantages à confirmer un positionnement pionnier pour les pays les plus avancés ?

Seuls 6 des 35 recensés en Espagne, au Danemark et en Suède ont bénéficié d'une décision finale d'investissement. Ils représentent 1,5% des capacités des projets annoncés. Leurs modèles d'affaires reposent comportent en effet une part de risque, liée à leur caractère innovant et à des incertitudes sur les évolutions de l'environnement de marché. Les pays qui verront émerger les premiers projets de taille industrielle dans les années à venir bénéficieront cependant de plusieurs atouts sur le long terme.

Sécuriser des parts sur des marchés dont la demande croitra de manière progressive, en cohérence notamment avec les objectifs réglementaires européens (voir Partie 1)

Structurer une chaîne de valeur nationale et **développer des références** qui appuieront des initiatives d'exportation d'un savoir-faire démontré

Jouer un rôle de pionnier technologique et prendre de l'avance sur les améliorations techniques et technologiques à anticiper à terme

SIAPARTNERS

BUREAU FRANÇAIS des e-fuels

Observatoire international des e-fuels.

Février 2024

Annexes : hypothèses retenues pour la construction des indicateurs des fiches pays

Calcul des indicateurs de capacité de production

Afin de pouvoir calculer les indicateurs des capacités de production des projets en construction ou en activité (indicateur 1), qui ont atteint une décision finale d'investissement (2) et à l'étude (3), nous nous sommes appuyés sur les **volumes de production, actuels ou envisagés, communiqués par les porteurs de projets**. **Nous ne prenons pas en compte les projets cartographiés ne communiquant pas leurs cibles de production** dans nos calculs. Les données récoltées ont été converties en **Tonne équivalent pétrole** (tep) pour faciliter les comparaisons des volumes obtenus. Seule **la part électro-sourcée des e-biofuels** a été prise en compte.

01 **Capacité de production des projets en construction ou en activité**

02 **Capacité de production des projets avec FID**

03 **Capacité de production des projets à l'étude**

Densités énergétiques volumique et massique des différentes molécules

Unité	(e) hydrogène *Liquide*	(e-) methane *Liquide*	(e-) methanol *Liquide*	(e-) kérosène *Liquide*	(e-) ammoniac *Liquide*	(e-) essence *Liquide*	(e-) diesel *Liquide*
m^3	4,88	2,03	2,91	1,20	3,95	1,16	1,18
L	4877,97	2025,45	2908,33	1204,08	945,22	1160,36	1177,76
kg	346,34	855,99	2300,49	963,26	2394,75	986,30	1008,22

=

Valeurs énergétiques (base PCS)		
1 tep =	Bep	7,33
	Tec	1,57
	MBtu	43,10
	GJ	45,37
	MWh	12,60

Nous nous sommes basés sur **les densités des molécules fossiles** car les molécules de synthèse leur sont identiques en termes de composition chimique.

Le volume énergétique de carburants produit par valorisation de la biomasse peut être plus que doublé suite à une injection d'hydrogène (ADEME, 2023 ; IEA, 2023). Nous considérons que **la moitié des capacités des e-biofuels** peut être considérée comme **électro-sourcée**.

Prise en compte de la contribution aux filières biocarburants

Périmètre retenu pour les calculs

e-fuels strictement électro-sourcés

Carburant et combustibles dont le contenu énergétique est d'origine électrique bas-carbone et provient exclusivement d'hydrogène produit par électrolyse de l'eau et de carbone non sourcé directement dans la biomasse.

Part électro-sourcée des e-biofuels

Volume énergétique d'origine électrique bas-carbone inclus dans les biocarburants enrichis à l'hydrogène, correspondant à la part d'énergie finale des e-biocarburants issue de l'injection d'hydrogène produit par électrolyse de l'eau.

Hors périmètre

Part bio-sourcée des e-biofuels

Volume énergétique d'origine biologique inclus dans les biocarburants enrichis à l'hydrogène, correspondant à la part d'énergie finale des e-biocarburants issue de la gazéification de la biomasse.

Calcul de l'indicateur sur les besoins en électricité

Pour le calcul de **l'indicateur 4 des besoins en électricité** par pays, nous nous sommes appuyés sur les valeurs calculées pour les indicateurs 1, 2 et 3 pour chaque molécule et sur une **hypothèse de 45% de rendement** du processus de synthèse des molécules à horizon 2030*, sans prise en considération des perspectives d'amélioration des rendements énergétiques à 55% au-delà de cet horizon*. Les pays ne communiquant pas leurs objectifs de production n'ont pas été pris en compte dans les calculs des besoins.

04

Besoins en électricité

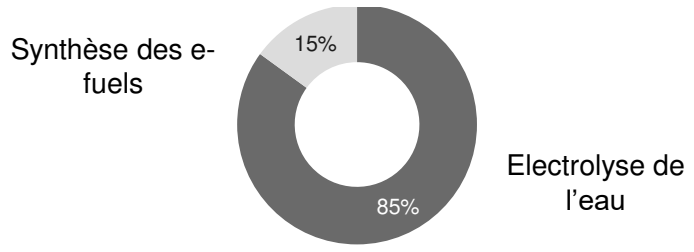
Molécule	MWh/tep
e-méthane	*28*
e-méthanol	*28*
e-kérosène	*28*
e-ammoniac	*28*
e-essence	*28*
e-diesel	*28*

Le calcul des besoins en électricité se base sur un **rendement énergétique de l'ensemble de la chaîne de valeur de 45% en 2030***.

Des **perspectives d'évolutions** technologiques permettant d'atteindre des **rendements de 55%** à terme*.

Pour l'e-kérosène, le rendement énergétique global de 45% retenu supposera une **valorisation intégrale des co-produits**.

Répartition industrielle du besoin électrique**



Prise en compte de la contribution aux filières biocarburants

Périmètre retenu pour les calculs

e-fuels strictement électro-sourcés

Carburant et combustibles dont le contenu énergétique est d'origine électrique bas-carbone et provient exclusivement d'hydrogène produit par électrolyse de l'eau et de carbone non sourcé directement dans la biomasse.

Part électro-sourcée des e-biofuels

Volume énergétique d'origine électrique bas-carbone inclus dans les biocarburants enrichis à l'hydrogène, correspondant à la part d'énergie finale des e-biocarburants issue de l'injection d'hydrogène produit par électrolyse de l'eau.

Hors périmètre

Part bio-sourcée des e-biofuels

Volume énergétique d'origine biologique inclus dans les biocarburants enrichis à l'hydrogène, correspondant à la part d'énergie finale des e-biocarburants issue de la gazéification de la biomasse.

* Source : Dire d'experts des membres du Bureau français des e-fuels ; Feuille de route vers la production d'e-carburant, *Académie des technologies, 2023 ;* A Techno-Economic Assessment of Fischer–Tropsch Fuels Based on Syngas from Co- Electrolysis, *Ralf Peters et al, 2022*

** Non prise en compte des solutions de co-électrolyse de l'eau et du CO2, envisageable au-delà de l'horizon 2030

Calcul de l'indicateurs sur les besoins en carbone

Pour le calcul de **l'indicateur 5 des besoins en carbone** par pays, nous nous sommes appuyés sur les valeurs calculées pour les indicateurs 1, 2 et 3 pour chaque molécule et sur des hypothèses techniques issues de la littérature de référence quant aux besoins en CO2 pour un volume de production d'e-fuel donné. Les pays ne communiquant pas leurs objectifs de production n'ont pas été pris en compte dans les calculs des besoins.

05

Besoins en carbone

Molécule	tCO2/tep	Source
e-méthane	2,5	Cas conservateur – Rapport ADEME (*ADEME, Quels besoins en électricité et CO2 ? Rapport final, 2023*)
e-méthanol	2,9	
e-kérosène	6,4	
e-ammoniac	0	
e-essence	3,6	Valeur e-FTL (e-Fischer-Tropsch Liquids) – Journal of Cleaner production (*T.Galimova et al, Journal of Cleaner Production, Volume 373, 2022*)
e-diesel	3,6	

Le carbone est utilisé pour la synthèse des e-fuels comme intrant avec l'hydrogène. Les e-biofuels correspondent à l'injection d'hydrogène dans le biofuel. **La part électro-sourcée des e-biofuels ne comprend donc pas d'utilisation de carbone.**

Prise en compte de la contribution aux filières biocarburants

Périmètre retenu pour les calculs

e-fuels strictement électro-sourcés

Carburant et combustibles dont le contenu énergétique est d'origine électrique bas-carbone et provient exclusivement d'hydrogène produit par électrolyse de l'eau et de carbone non sourcé directement dans la biomasse.

Part électro-sourcée des e-biofuels

Volume énergétique d'origine électrique bas-carbone inclus dans les biocarburants enrichis à l'hydrogène, correspondant à la part d'énergie finale des e-biocarburants issue de l'injection d'hydrogène produit par électrolyse de l'eau.

Hors périmètre

Part bio-sourcée des e-biofuels

Volume énergétique d'origine biologique inclus dans les biocarburants enrichis à l'hydrogène, correspondant à la part d'énergie finale des e-biocarburants issue de la gazéification de la biomasse.

Calcul de l'indicateur sur les besoins de consommation et prélèvement d'eau

L'**indicateur 5**, s'appuie sur les valeurs calculées pour les indicateurs 1, 2 et 3 pour chaque molécule et sur des hypothèses techniques issues de la littérature de référence quant aux besoins en eau pour un volume de production d'e-fuels donné. Les pays ne communiquant pas leurs objectifs de production n'ont pas été pris en compte dans les calculs des besoins. Nos calculs prennent en compte les besoins de prélèvement sur l'ensemble de la chaîne de production des e-fuels : opérations d'électrolyse de l'eau, de refroidissement des électrolyseurs, de captage du CO2, et de refroidissement des équipements permettant la synthèse des e-fuels

06

Besoins en eau

Eau prélevée par tonne d'H2 produit*		Eau prélevée par tonne de CO2 capté	
Valeur	Justification	Valeur	Justification
65 l/kgH2	• Electrolyse de l'eau : Hypothèse d'utilisation d'eau douce brute purifiée (10L/kg H2) • Technique de refroidissement liquide des électrolyseurs : Moyenne de 55L/kg H2 (cf: IEA, *The role of e-fuels in decarbonizing transports*, 2023)	**2,15 m3/t CO2 capturée**	• Hypothèse d'utilisation de la technologie post-combustion : moyenne des besoins selon les typologies de sources de CO2 (cf : *Water footprint of CCS technologies*, L. Rosa and Co, 2020.)

E-fuels	Besoins en H2 et en CO2 par tep produite		Besoins en eau liés au refroidissement des équipements permettant la synthèse des e-fuels		Besoins totaux de prélèvement d'eau (L/tep)
	Valeur	Source	Valeur (l/tep)	Source	
e-méthane	0,55 t H2/t d'e-fuel	Méthanation, Storengy, 2022	8108	• Ratio de 1,65 entre et les volumes d'eau prélevés pour la synthèse des e-fuels d'une part et la production d'hydrogène et la capture du CO2 d'autre part (cf: *Concawe Review*, 2019	**13514**
	2,5 tCO2/tep d'e-fuel	ADEME, *Quels besoins, 2023*			
e-méthanol	0,2 t H2/t d'e-fuel	*Rapport ADEME*	9420		**15700**
	2,9 tCO2/tep	*Rapport ADEME*			
e-kérosène	0,5 t H2/t d'e-fuel	*Rapport ADEME*	20687		**19428**
	6,4 tCO2/tep	Journal of Cleaner production			
e-ammoniac	0,18 t H2/t d'e-fuel	*Rivaloro & co, 2019*	10501		**10529**
	0 tCO2/tep	*Rapport ADEME*			
e-essence	0,5 t H2/t d'e-fuel	*Rapport ADEME*	11 659		**19432**
	3,6 tCO2/tep	Journal of Cleaner production			
e-diesel	0,5 t H2/t d'e-fuel	*Rapport ADEME*	11 658		**19430**
	3,6 tCO2/tep	Journal of Cleaner production			

* Non prise en compte des solutions de co-électrolyse de l'eau et du CO2, envisageable au-delà de l'horizon 2030

Calcul de l'indicateurs besoins en financements

Pour le calcul de **l'indicateur 7 sur les besoins en financement** par pays, nous nous sommes appuyés sur les valeurs calculées pour les indicateurs 1, 2 et 3 pour chaque molécule et sur des hypothèses techniques issues d'un travail de recensement des données disponibles sur le CAPEX de projets de production d'e-fuels.
Les pays ne communiquant pas leurs objectifs de production n'ont pas été pris en compte dans les calculs des besoins.

06

Besoins en financements

Molécule	Nombre de projets recensés avec des communications sur les CAPEX envisagés	Fourchette de capacité des projets concernés (en ktep/an)	Capacité totale concernée par ces projets (tep/an)	Total CAPEX des projets concernés (M€)	Hypothèses retenues sur les besoins en CAPEX M€/tep e-fuel produit
e-méthane	*0*	/	/	/	*0,0178**
e-méthanol	*8*	*3 – 1 336*	*2 459 295*	*17 363*	*0,0071*
e-kérosène, e-essence, e-diesel	*15*	*1 – 425*	*1 819 820*	*11 923*	*0,0066*
e-ammoniac	*6*	*42 – 292*	*1 194 281*	*21 430*	*0,0179*

* Les hypothèses techniques sur les besoins en CAPEX pour la filière e-méthane se basent sur une extrapolation des données collectées pour d'autres filières de production d'e-fuels.

Remarques concernant les sources utilisées

Périmètre

Cette édition de l'*Observatoire international des e-fuels* publiée en février 2024 couvre l'ammoniac, le méthane, le méthanol, le kérosène, le diesel et le gazole de synthèse dont le contenu énergétique est partiellement ou entièrement obtenu à partir d'hydrogène obtenu par électrolyse de l'eau. La part du volume énergétique des e-biocarburants issue de l'injection d'hydrogène produit par électrolyse de l'eau dans un procédé de production de biocarburant est également inclus dans le périmètre de l'*Observatoire* et pris en compte dans le calcul des indicateurs.

Les cartographies de projets au Danemark, en Espagne, en Suède, au Canada et aux Etats-Unis englobent les projets annoncés publiquement et dont la mise en service est effective ou prévue à l'horizon 2030. Les projets n'ayant pas abouti ne sont pas présentés, de même que les projets clôturés et les projets encore confidentiels.

Sources

Les indicateurs présentés dans le cadre de cette publication sont le résultat d'analyses propres à Sia Partners, basées sur des informations publiquement disponibles. Sia Partners fournit cet outil à titre d'information uniquement et ne peut être tenu responsable de l'exactitude ou de l'exhaustivité des données. Les sources utilisées sont référencées sur les pages correspondantes. Différentes bases de données de projets ont été utilisées et complétées par nos propres recherches (IEA, CO2 Value Europe, …). Les sources utilisées sont issues d'organisations publiques, de travaux de recherches ou de communication d'acteurs de l'écosystème des e-fuels.

Certains membres du Bureau français des e-fuels ont également été sollicités pour une confirmation de la pertinence de nos hypothèses.

Analyse

Sia Partners met régulièrement à jour sa base de données interne sur les projets d'e-fuels en France et leurs caractéristiques (intrants, capacités, puissances, technologies, coûts, etc.). Les sources de données sont vérifiées afin de garantir une consolidation fiable des indicateurs et de s'assurer que la version la plus récente soit à jour concernant les filières d'e-fuels couvertes dans le périmètre de l'étude.

Glossaire

k	Kilo, Mille (10^3)
M	Méga, Million (10^6)
G, Md	Giga, Milliard (10^9)
T	Téra, Billion (10^{12})
Mds	Milliard
M	Million
ha	Hectare
L	Litre
g	gramme
m, m², m³	Mètre, mètre carré, mètre cube
t	Tonne
tec	Tonne d'équivalent charbon
tep	Tonne d'équivalent pétrole
W	Watt
Wh	Watt-heure
V	Volt
PJ	Péta joule (10^{15} Joule)

PtL / PtX	Power-to-Liquid / Power-to-X (production d'hydrogène ou d'e-fuels liquide ou gazeux à partir d'électrolyse de l'eau)
CO_2	Dioxyde de carbone
CO_2 biogénique	CO2 issu de la valorisation de bioénergies (bois, biogaz, déchets organiques, …)
CUSC	Capture, Utilisation et Stockage du Carbone
DAC	Direct Air Capture : captage du CO_2 contenu dans l'atmosphère
e-fuel	Électro-carburant, carburant de synthèse
EnR	Energies, et notamment de l'électricité, issues de sources Renouvelables
GES	Gaz à Effet de Serre
GNL	Gaz Naturel Liquéfié
H_2	Dihydrogène (« hydrogène » par raccourci)
H_2O	Eau
NH_3 / e-NH_3	Ammoniac / e-ammoniac
FT / FTL	Fischer Tropsch / Fischer Trospch Liquids : brique technologique permettant de transformer du syngaz (pouvant lui-même obtenu être obtenu par valorisation d'hydrogène et de CO_2) en plusieurs produits, dont de l'(e-)-kérosène, de l'(e-)-diesel, de (e-)gazole ou de l'(e-)naphta
Hydrogène bleu	Hydrogène fabriqué par vaporeformage du méthane avec captage du CO_2 émis
Hydrogène vert / renouvelable	Hydrogène produit par électrolyse de l'eau à partir d'électricité renouvelable
Hydrogène décarboné	Hydrogène produit par électrolyse de l'eau à partir d'électricité renouvelable ou décarbonée (notamment électricité nucléaire)
Hydrogène électrolytique	Hydrogène obtenu par électrolyse de l'eau
Ammoniac bleu	(e-)ammoniac produit à partir d'hydrogène bleu et d'Azote
Ammoniac vert / renouvelable	(e-)ammoniac produit à partir d'hydrogène vert et d'Azote
Ammoniac décarboné	(e-)ammoniac produit à partir d'hydrogène décarboné et d'Azote

Glossaire

€	Euro
$	Dollar
$CAD	Dollar canadien
DKK	Couronne danoise
SEK	Couronne suédoise
ACV	Analyse de Cycle de Vie
NB	Nota Bene
NC	Non Communiqué
TRL	Technology Readiness Level (échelle 1-9)

CAPEX, OPEX	Dépenses d'investissement, d'exploitation
PME	Petite ou Moyenne Entreprise
PPA	Power Purchase Agreement
R&D	Recherche et Développement
Décision Finale d'Investissement, FID	Décision engageante de lancement d'un projet, amenant à la signature des contrats avec les principaux partenaires industriels et financiers et le lancement de la phase de construction du projet.
RED II, RED III	Renewable Energy Directive II, III
RFNBO	Renewable Fuel Of Non Biological Origin (hydrogène et e-fuel vert)
SAF / CAD	Sustainable Aviation Fuel / Carburant d'Aviation Durable
SMF	Sustainable Maritime Fuel / Carburant Maritime Durable
UE, EU	Union Européenne, European Union

Contacts et remerciements.

Charlotte de Lorgeril
Partner Energy, Utilities & Environment - Sia Partners
Porte-parole du Bureau français des e-fuels
charlotte.delorgeril@sia-partners.com

Yann Lesestre
Manager
Energy, Utilities & Environment - Sia Partners
yann.lesestre@sia-partners.com

Contributeurs

Philippine Longchamp
Consultante – Sia Partners

Victor Martin
Consultant – Sia Partners

Mathieu Demoulin
Consultant – Sia Partners

Catherine Kallas
Consultante – Sia Partners

Merci à Daniel Iracane (Membre de l'Académie des technologies), Jean-Baptiste Jarin (étudiant PhD, Université de Pau et des Pays de l'Adour) et Emeric Sarron (CTO de CRI et Board Member de CO2 Value Europe) pour leur apport d'expertise dans ces travaux.

BUREAU
FRANÇAIS
des **e-fuels**

SIAPARTNERS

Charlotte de Lorgeril
Partner Energy, Utilities & Environment
charlotte.delorgeril@sia-partners.com

Février 2024

Panorama international des e-fuels.