

Ateliers CO₂: Plan de développement prospectif des infrastructures

Synthèse des échanges

Description : Ce document présente une synthèse des discussions ayant eu lieu lors de l'atelier du 13 Mai 2025 organisé par NaTran et Teréga sur le développement des infrastructures de transport de CO₂ en France.

Sommaire

1	Introduction et synthèse	2
2	Typologie des organismes ayant participé à la plénière et aux ateliers (hors NaTran et Teréga)	3
3	Présentation détaillée des échanges ayant eu lieu lors de l'atelier	3
3.1	Échanges lors de la plénière – Questions et remarques des parties prenantes	3
3.2	Échanges lors des ateliers « Plan de Développement ».....	4
3.3	Retours reçus par écrit après l'atelier	7

1 Introduction et synthèse

Ce document présente une synthèse des discussions ayant eu lieu lors de l'atelier du 13 mai 2025 organisé par NaTran et Teréga sur le développement des infrastructures de transport de CO₂ en France. Il prend également en compte certains éléments fournis lors des retours post-ateliers ou après ces ateliers. **Cette note ne reflète donc pas les opinions de NaTran et Teréga mais documente les échanges et retours non confidentiels.**

L'atelier a regroupé 61 participants hors NaTran et Teréga. L'atelier s'est décomposé en une plénière suivie d'un partage en 2 groupes d'une vingtaine de personnes chacun en présentiel ainsi qu'un groupe d'une vingtaine de personnes en distanciel.

Les ateliers ont été animés par Thomas LE GRAND, Nicolas PEUGNIEZ (NaTran), et par Alexy HEDUIN, Antoine CHARBONNIER (Teréga).

Les organismes dans lesquels travaillaient les participants externes à NaTran et Teréga étaient des **industriels, des pouvoirs publics, des centres de recherche et des associations d'acteurs**. La liste des participants est détaillée plus bas dans le document.

Pour préparer l'atelier, **une note d'une dizaine de page décrivant le Plan de développement Prospectif et interrogeant les parties prenantes sur certains points spécifiques a été partagée en amont** aux invités. Elle contenait de nombreuses informations relatives :

- **Aux trajectoires de capture, stockage et valorisation de CO₂** entre aujourd'hui et 2050
- **La méthodologie et les propositions de développement de réseaux de carbooducs** entre 2030 et 2050

Ces points ont été discutés avec les participants. Une courte synthèse des points clés partagés est proposée ci-dessous.

Les **messages clés des participants** sont :

- La **disponibilité et la proximité des carbooducs** sont cruciales pour les futurs émetteurs et consommateurs.
- Les **spécifications et la pureté du CO₂** au long de la chaîne sont des points d'attention majeurs car ayant un impact économique direct sur les différents segments de la chaîne de valeur.
- Des attentes fortes sur le **support de l'État Français et de l'UE** pour la mise en place de la chaîne (subventions, mécanismes financiers, garanties, partage des risques, ...).
- D'un point de vue **sociétal** : besoin d'explication/pédagogie sur la filière et son impact mais aussi de compréhension de la boucle locale et des enjeux territoriaux.
- Les **U.V.E.** (Unités de Valorisation Énergétiques / incinérateurs) ont des problématiques de localisation diffuse, de capacités d'investissement limitées et surtout d'impact financier sur les contribuables.
- Le **CO₂ biogénique** pose les questions de sa valorisation / reconnaissance au sein du système de contrôle des émissions, de sa prise en compte dans le suivi des émissions CO₂ (qui peut être un mixte de biogénique et de fossile), et aussi du fait de sa production parfois diffuse.

2 Typologie des organismes ayant participé à la plénière et aux ateliers (hors NaTran et Teréga)

Typologie des acteurs participants à l'atelier	Part %
Investisseurs	3%
Fournisseurs d'énergie & Producteurs d'énergie	25%
Instituts de recherche	9%
Agences administratives	1%
Autorité administrative indépendante	6%
Collectivités (régions) et agences de développement économiques régionales	10%
Associations professionnelles	7%
Acteurs de l'innovation	3%
Industriels	16%
Gestionnaires de réseau de distribution	4%
Gestionnaire des infrastructures de transport des énergies	1%
Cabinets de conseil	4%
Prestataires de services énergétiques / décarbonation	4%
Autres	4%
TOTAL	100%

3 Présentation détaillée des échanges ayant eu lieu lors de l'atelier

3.1 Échanges lors de la plénière – Questions et remarques des parties prenantes

Les spécifications techniques :

Les participants s'interrogent sur la gestion des spécifications techniques **du CO₂** transporté, qui ne seraient pas définies selon les exigences des utilisateurs finaux, mais plutôt **par les opérateurs de transport** eux-mêmes, ceci afin de **garantir une qualité adaptée au mode de transport** envisagé.

NaTran et Teréga indiquent que des études sont encore en cours pour déterminer si et dans quel cas le CO₂ sera acheminé en phase gazeuse, dense, ou une combinaison des deux. Par ailleurs, il est essentiel de **ne pas imposer de contraintes excessives** au système, notamment lorsque les utilisateurs finaux potentiels nécessitent des normes très strictes de pureté, ce **qui compromettrait la viabilité économique** de la chaîne CCUS dans son ensemble.

L'objectif est de concevoir une chaîne de valeur attrayante dès le départ, en recherchant **un équilibre optimal entre les aspects techniques et économiques**, sachant que chaque projet impliquera des spécifications techniques et conditions spécifiques, comme le stockage onshore, l'export via un terminal maritime ou la production d'efuel.

Plus spécifiquement, concernant le CO₂ utilisé dans l'industrie alimentaire :

Concernant le **CO₂ alimentaire**, il est précisé par certains participants qu'il ne présente **pas forcément les contraintes les plus strictes** en matière de spécifications, **e-fuels** ou au **stockage** géologique pouvant être plus exigeant notamment sur les composés soufrés. Une attention particulière serait maintenue sur les spécifications requises pour les différents **types de stockage**

en fonction de leurs caractéristiques propres. **NaTran et Teréga souhaitent préciser que les spécifications des infrastructures CO₂ sont encore à l'étude et dépendront de chaque projet.**

Par ailleurs, la possibilité d'intégrer des **purifications intermédiaires** dans les réseaux n'est pas encore tranchée, celle-ci dépendra d'un juste **équilibre** entre considérations **techniques et économiques** pour les maillons de la chaîne de valeur afin d'imposer le juste niveau de contraintes.

Enfin, les utilisateurs du secteur agroalimentaire ne seraient pas forcément concernés par le transport du CO₂ par canalisation dans un réseau mutualisé, en raison des exigences de traçabilité de l'origine du CO₂ propre à cette filière.

La gestion du transfert de propriété du CO₂ transporté :

Dans le cas où il **existe une chaîne complète de capture et de séquestration** du CO₂, le **CO₂ n'aurait plus de propriétaire au** moment où celui-ci serait injecté dans le réseau de transport, suivant un principe similaire à celui appliqué au méthane (CH₄). Ce point questionne les participants. À date, comme pour le méthane, NaTran et Teréga prévoient de transporter le CO₂ et l'acheminer mais pas d'en acquérir la propriété.

NaTran et Teréga expliquent que les synergies entre les acteurs et la création de réseaux privés ne sont pas toujours visibles, sauf lorsque les opérateurs sont directement contactés. Les réseaux privés restent libres de rassembler un nombre limité d'acteurs qui souhaitent rester au sein d'une chaîne intégrée, ou ayant des contraintes particulières qui les empêchent d'accéder à un réseau mutualisé. NaTran et Teréga insistent donc sur **l'importance d'un réseau public, transparent, ouvert et accessible à tous**, soulignant que les infrastructures **mutualisées** proposées permettraient d'assurer la sécurité de l'approvisionnement et de multiplier les possibilités d'exutoires.

3.2 Échanges lors des ateliers « Plan de Développement »

3.2.1 Retours des parties prenantes concernant les principaux freins à la décarbonation des émissions *hard-to-abate* via le CCS

Les éléments présentés ci-dessous reflètent la synthèse des retours émis lors des ateliers.

Les participants s'accordent pour dire que bien que le CCUS ne soit pas l'unique solution, cette technologie pourrait s'avérer indispensable pour atteindre les objectifs climatiques dans des secteurs comme celui du verre émettant de grandes quantités de CO₂ *hard-to-abate*.

Le besoin d'infrastructures de transport :

Les principaux freins à la décarbonation des émissions *hard-to-abate* reposeraient essentiellement sur la **disponibilité des infrastructures**, élément crucial pour les émetteurs souhaitant une chaîne complète jusqu'au stockage, ainsi que sur la nécessité d'un **retour sur investissement raisonnable estimé à dix ans**. L'existence de subventions substantielles (aujourd'hui non suffisantes), avec un rôle garant de l'État, joue également un rôle incitatif.

Le **système ETS** pose des défis, avec une valeur actuelle jugée trop basse pour les émetteurs fossiles et des projections trop élevées pour les **unités de valorisation énergétique (U.V.E.)**, ce qui affecte directement la **facturation aux citoyens**. Les U.V.E. sont confrontées à leur éloignement des futurs axes de transport de CO₂ tout en étant proches des zones urbaines. Par ailleurs la mise en place d'une chaîne CCUS pour les U.V.E. pose des questions de performance économique à cause d'une réduction de la revente de la chaleur qui sera en partie utilisée pour les besoins de captage du CO₂, nécessitant un compromis optimal.

Les coûts d'investissements élevés et l'acceptabilité sociale :

D'autres obstacles concernent les **coûts d'investissement et l'acceptabilité sociale de ce type de projet** — liée à la nature même du CO₂ —, ainsi que la complexité de développer un nouveau modèle économique.

Le manque de disponibilité du bioCO₂ :

À cela s'ajoute la **faible disponibilité du CO₂ biogénique**, accompagnée d'un **manque d'incitations à sa collecte**, notamment lorsque coexistent des émissions fossiles et biogéniques, les mécanismes comptables ne permettant pas de compenser l'un par l'autre.

Le risque de **pénurie en ressources humaines**, en particulier en ingénierie, ainsi que la nécessité **d'acculturation autour de la boucle locale** entre émetteurs et consommateurs pour renforcer la **valeur territoriale**, sont également soulignés.

Des technologies avec des TRL encore trop faibles :

Du côté du **captage**, les technologies restent pour **certaines immatures** ou encore en cours d'industrialisation. Leurs coûts étant très variables selon la composition des fumées et la taille des installations, rendant les **investissements lourds** pour les petits émetteurs ; une **modularité** des équipements est donc souhaitable pour s'adapter à des volumes très différents.

Enfin, la réflexion se poursuit sur l'intégration d'étapes d'épuration intermédiaire et sur les exigences de purification finale au niveau des terminaux d'export.

3.2.2 Retours des parties prenantes concernant les échéances de développement proposées :

Les échéances de développement proposées par NaTran et Teréga soulèvent plusieurs enjeux portés par les participants, notamment **l'intégration des cimenteries, situées au cœur du territoire français** actuellement absentes des plans stratégiques. **NaTran et Teréga indiquent que les cimenteries présents dans les aires géographiques de leurs projets sont pleinement intégrés dans leurs stratégies.**

Il est rappelé que **l'horizon 2030 impliquerait des décisions immédiates sur les investissements en infrastructures**, compte tenu des délais réglementaires de mise en œuvre. Les verriers ont exprimé leur capacité à engager des projets de captage en vue d'une mise en service à cette date, sous réserve d'une garantie de proximité des canalisations.

Toutefois, le modèle économique devrait reposer sur des **mécanismes financiers complémentaires aux subventions**, des réflexions sont initiées sur le sujet par les services de l'État (Stratégie CCUS notamment), différents groupes de travail (Comité Prospective CRE, CSF-NSE, ...) mais également par les futurs opérateurs et utilisateurs de ces infrastructures. Teréga souligne également que **l'appétence des financeurs joue un rôle majeur**, soulevant la question de la couverture des risques.

Les participants constatent par ailleurs un manque d'études et de solutions adaptées au captage pour les petits émetteurs.

Le **prix du CO₂ biogénique** suscite des débats au sein des participants : sur les marchés traditionnels et ceux des crédits carbone, il s'aligne sur les niveaux de l'ETS, bien que certains grands acteurs soient disposés à acquérir des crédits pour des montants pouvant atteindre 300 €/tCO₂ dans le cadre de leur stratégie de décarbonation.

En ce qui concerne **les e-fuels**, les projets d'e-fuel identifiés actuellement pourraient émerger **dès 2032**, représentant des investissements de l'ordre de **1 à 2 milliards d'euros** incluant le

captage, portés par une réglementation européenne incitative (RFNBO). Bien que leur calendrier puisse glisser vers 2035, il est identifié une demande croissante à terme (voir la note de synthèse dédiée).

De son côté, la **Commission de Régulation de l'Énergie (CRE)** partage qu'elle attend les **futurs paquets européens** — moins avancés pour le CO₂ que pour l'hydrogène — afin de relancer les travaux, qu'elle a déjà engagés dans son comité « Prospective » et son rapport sur les principes de régulation H₂/CO₂, et fixer des éventuelles échéances réglementaires sur la régulation du transport et du stockage du CO₂ en France.

3.2.3 Retour des parties prenantes concernant l'intégration progressive de nouveaux émetteurs

L'intégration progressive de nouveaux émetteurs **dépendrait fortement de la phase de transport** envisagée, notamment lorsqu'il s'agit de transport en phase liquide (cryogénique), où une tournée de collecte par camion peut être envisagée jusqu'au terminal maritime si la distance est compatible. **NaTran et Teréga souhaitent préciser qu'un maillage plus fin du réseau de transport est envisagé une fois les axes de grand transport développés pour les émetteurs d'ancrage. Cela permettra le raccordement d'émetteurs de plus petite taille permettant ainsi de nouvelles opportunités au sein des territoires.**

Cette collecte repose sur **l'atteinte d'une taille critique**, que ce soit à l'échelle d'un émetteur individuel ou par regroupement d'émetteurs.

Les représentants de Régions présents estiment qu'à ce jour, ce sont surtout les Métropoles qui jouent actuellement un rôle moteur dans cette dynamique à travers notamment de la coordination des projets autour des ZIBaC et des échanges avec les industriels sur leurs territoires.

Un enjeu central demeure cependant dans la **coordination temporelle entre la mise en place des infrastructures et le déploiement des projets de capture des émetteurs**, chacun se trouvant dans une situation de blocage où il attend le premier pas de l'autre. **NaTran et Teréga pensent que pour débloquer cette situation, il est nécessaire de mettre en place des mesures incitatives. En partageant les risques financiers et opérationnels, les deux parties s'encouragent à faire le premier pas, transformant ainsi un dilemme en une approche plus collaborative.**

3.2.4 Retours des parties prenantes concernant le besoin de tracer le CO₂

La **traçabilité du CO₂ biogénique** suscite un intérêt croissant chez les parties prenantes, qui soutiennent le recours à des **Garanties d'Origine dématérialisées et électroniques** pour en certifier la provenance.

Le marché français actuel représente un volume d'environ 1 million de tonnes de CO₂ par an. Toutefois, la dynamique des **émissions négatives volontaires** crée des distorsions dans ce marché, tout en ouvrant **potentiellement la voie au développement** d'une filière de captage dédiée spécifiquement au CO₂ biogénique. **NaTran et Teréga souhaitent mettre en avant que le CO₂ biogénique, issu notamment de la méthanisation, est un gisement en pleine croissance. La dynamique actuelle et les nouvelles opportunités liées aux émissions négatives volontaires (en cas de séquestration de CO₂ biogénique), crée des opportunités pour le développement d'une filière de captage du CO₂ biogénique. Cette évolution pourrait également permettre de répondre à une demande croissante, notamment pour la production d'e-carburants (e-fuels), ou encore pour la minéralisation du carbone dans des matériaux de construction.**

3.2.5 Retour des parties prenantes sur leurs attentes concernant une régulation des infrastructures CO₂

La régulation des infrastructures liées au CO₂ ne constitue pas une priorité pour les producteurs de biométhane, qui ne se sentent pas directement concernés.

En revanche, la CRE réaffirme son intention d'encadrer **les aspects réglementaires liés au stockage, au transport par canalisation, ainsi qu'aux réseaux de collecte mutualisés**, témoignant d'une volonté de structurer ce secteur en pleine émergence.

3.2.6 Retour des parties prenantes concernant la viabilité économique des solutions CCUS / soutien étatique et européen

La viabilité économique des solutions de captage, stockage et valorisation du CO₂ soulève des inquiétudes, en particulier concernant le coût potentiel du transport et du captage, jugé élevé en raison de spécifications techniques considérées contraignantes. NaTran et Teréga précisent toutefois que ces **spécifications visent avant tout à assurer la préservation des infrastructures** telles que les canalisations et les compresseurs, ce qui renforce le besoin de recueillir les retours des parties prenantes pour adapter les exigences de manière réaliste. **NaTran et Teréga souhaitent apporter un complément : Cet enjeu soulève la question de l'optimisation des investissements en privilégiant des investissements mutualisés à l'échelle d'un hub industriel, où la mise aux spécifications (séparation, déshydratation, purification, compression, ...) serait réalisée par un acteur unique avant l'injection dans le réseau de transport ou en préférant que chaque site d'émission investisse individuellement pour adapter son propre flux de CO₂ aux exigences du réseau. L'approche mutualisée permettrait de réaliser des économies d'échelle significatives, mais elle impliquerait des investissements initiaux lourds et une forte coordination entre les industriels. À l'inverse, l'investissement site par site offre une plus grande flexibilité, mais il pourrait se traduire par des coûts à la charge de chaque émetteur plus élevés. La concertation est donc essentielle pour identifier l'optimum technico-économique entre la sécurisation de l'intégrité et de la performance des infrastructures de transport et la minimisation.**

Par ailleurs, la saturation actuelle des laboratoires d'analyse de CO₂ constitue une limite supplémentaire à la mise en œuvre rapide et efficace de ces solutions.

3.3 Retours reçus par écrit après l'atelier

3.3.1 Retours des parties prenantes concernant les principaux freins à la décarbonation des émissions *hard-to-abate via le CCS*

La dynamique actuelle des politiques européennes de décarbonation se heurte à des contradictions structurelles. D'un côté, la volonté de réduire les émissions de CO₂ en Europe est affirmée ; de l'autre, les contraintes économiques incitent certaines industries à délocaliser la production, externalisant ainsi les émissions sans véritablement les réduire. Ce déséquilibre résulte notamment d'une approche incohérente entre les différents États membres, et d'un cadre réglementaire qui peine à concilier protection environnementale et compétitivité économique.

Les freins à la mise en œuvre de solutions telle que le CCUS sont multiples. Sur le plan économique, les projets nécessitent des investissements colossaux, rendus peu attractifs dans un contexte de volatilité du marché du carbone et de prix encore insuffisants pour justifier la rentabilité à grande échelle. La fragmentation des acteurs impliqués dans chaque maillon de la chaîne – aggrave les risques de coordination et de délai.

Sur le plan réglementaire, des zones d'incertitude persistent. Par exemple, le statut des unités de valorisation énergétique des déchets (UVE) vis-à-vis du système européen d'échange de quotas de CO₂ (EU-ETS) n'est pas encore clairement défini dans le cadre de l'ETS-2. Les procédures d'autorisation demeurent complexes et longues, entravant le démarrage rapide des infrastructures nécessaires. À cela s'ajoute l'absence d'un cadre juridique stable qui offrirait une visibilité à long terme sur le prix du carbone, indispensable pour sécuriser les investissements.

La dimension sociétale constitue également un obstacle majeur. Le stockage du CO₂, particulièrement en zones terrestres (onshore), suscite des inquiétudes chez les populations locales. L'acceptabilité des projets repose sur une meilleure pédagogie, une transparence accrue et une concertation efficace avec les territoires concernés.

En réponse à ces défis, plusieurs leviers stratégiques sont proposés. Il est essentiel de construire un cadre réglementaire clair, incluant des mécanismes de soutien économique tels que les *Contracts for Difference*, permettant de garantir un prix du carbone suffisant pour assurer la rentabilité. L'État et les collectivités doivent jouer un rôle actif dans la sensibilisation du public et dans la co-construction des projets. Enfin, une meilleure coordination entre les acteurs publics, industriels et territoriaux est nécessaire pour mutualiser les efforts, accélérer le déploiement des infrastructures et rendre possible un modèle industriel européen réellement bas-carbone.

3.3.2 Retours des parties prenantes concernant l'incitation à engager des investissements significatifs dans le CCS dans un contexte où les projections du prix de l'ETS restent relativement "basses" :

L'évolution du système européen d'échange de quotas carbone (EU-ETS) s'inscrit dans une trajectoire de long terme visant la neutralité carbone, notamment par l'élimination ou la compensation des émissions fossiles. Cette trajectoire impose dès à présent une planification stratégique de moyens, en particulier concernant la mise en place des infrastructures de captage et de stockage de CO₂. Même en présence d'un prix du carbone encore faible, le démarrage de ces projets devient urgent, nécessitant un accompagnement politique affirmé tant sur le plan réglementaire que financier.

Le « *Contract for Difference* » (CCfD), en cours de déploiement en France, représente un outil structurant pour sécuriser les investissements. En garantissant un prix plancher du carbone sur une période longue (15 ans minimum), il permettrait de créer un signal économique suffisamment fort pour enclencher des projets lourds, notamment ceux impliquant du CO₂ fossile. Le soutien financier direct, par le biais de subventions françaises et européennes, demeure également un levier essentiel pour réduire les coûts des infrastructures, en particulier si un développement du stockage onshore est envisagé, permettant une baisse significative des frais logistiques.

Cependant, la viabilité économique du CCUS reste difficile à démontrer sans ces dispositifs incitatifs. Un business case solide, avec un retour sur investissement raisonnable, dépend étroitement de la stabilité du marché ETS et de l'environnement réglementaire. À l'inverse, une baisse prolongée du prix du carbone sans ajustement des subventions pourrait compromettre l'émergence des projets industriels. NaTran et Teréga soulignent que le CCS est une solution parmi les plus économiques à la tonne de CO₂ évitée dont les coûts estimés sont inférieurs à la valeur de l'action pour le climat (Quinet).

La valorisation des émissions négatives à travers les crédits carbone constitue une voie prometteuse, notamment via le développement des technologies BECCS (bioénergies avec

captage et stockage du carbone). Pour cela, il est indispensable de structurer un véritable marché des crédits carbone à l'échelle européenne, permettant à la fois une valorisation environnementale crédible et une liquidité suffisante. L'introduction d'un « premium » au sein du système ETS, attribuant une valeur supérieure aux tonnes de carbone durablement séquestrées (exprimée par un coefficient >1), renforcerait la cohérence du marché et soutiendrait les modèles économiques des projets à émissions négatives.

Une telle évolution du système ETS en faveur des *carbon removals* enverrait un signal fort aux industriels, leur donnant les moyens et la visibilité nécessaire pour s'engager dans des investissements d'envergure. Elle renforcerait par ailleurs la crédibilité climatique de l'Union européenne à travers une stratégie industrielle durable et compétitive.

3.3.3 Retours des parties prenantes concernant les échéances de développement proposées :

Dans un contexte européen de forte accélération du déploiement des infrastructures de stockage de CO₂, la France accuse un certain retard. Si les solutions off-shore à haut niveau de maturité technologique (TRL9) peuvent offrir une voie rapide pour démarrer les exportations de CO₂, elles ne doivent pas évincer la planification du développement de capacités de stockage on-shore locales. Ces dernières restent encore peu identifiées et à des niveaux technologiques intermédiaires (TRL6-7), mais leur mise en œuvre progressive pourrait permettre de réduire les coûts logistiques et de renforcer l'autonomie nationale.

Les premières installations de captage et d'exportation pourraient voir le jour aux alentours de 2030, avec un déploiement complet attendu avant 2040. Toutefois, cette trajectoire est conditionnée par une coordination étroite entre planification industrielle, simplification réglementaire et soutien financier. Les ports de Dunkerque et du Havre apparaissent comme des points de départ plausibles, mais l'atteinte des objectifs climatiques de la PPE3 à cet horizon nécessite un alignement sans retard des calendriers de développement.

La montée en puissance de la filière des gaz verts, notamment par la valorisation du CO₂ biogénique issu de leur épuration, représente un levier complémentaire de décarbonation. D'après les projections GRDF, la production nette de bioCO₂ atteindrait 7,7 Mt dès 2030, 27,4 Mt en 2040 et plus de 40 Mt en 2050. Bien que cette production soit géographiquement diffuse (entre 2 et 25 kt CO₂/an par site), les plus gros émetteurs pourraient être reliés aux premiers hubs de transport via des réseaux de collecte en amont.

Le développement d'un réseau national de transport de CO₂ capable d'intégrer cette ressource biogénique d'ici 2032 semble donc stratégique. Il contribuerait à sécuriser les volumes captés, améliorer la rentabilité des investissements et renforcer la cohérence territoriale de la filière CCUS.

Dans l'ensemble, les échéances envisagées sont jugées réalistes et compatibles avec les trajectoires industrielles en cours. Néanmoins, le respect de ce calendrier exige une vigilance forte sur le cadre réglementaire et les délais de déploiement des infrastructures, éléments pouvant freiner la concrétisation des ambitions françaises.

3.3.4 Retour des parties prenantes concernant les principales contraintes logistiques et problématiques de localisation des émissions qu'ils rencontrent, la cohérence du schéma proposé par NaTran et Teréga vis-à-vis de leurs attentes et s'ils envisagent des interfaces multimodales

Certains acteurs ont leurs émissions concentrées sur un faible nombre de sites industriels, ce qui les place dans une configuration favorable par rapport aux schémas de réseau actuellement

envisagés. Toutefois, cette position avantageuse nécessite d'être consolidée par la définition précise des critères de qualité et de conditionnement du CO₂ attendu pour injection dans les infrastructures, notamment les canalisations. Dans une logique de sobriété énergétique, il apparaît essentiel de limiter les changements d'état du CO₂ tout au long de son acheminement, en privilégiant un transport en phase gazeuse compatible avec les spécifications d'injection.

D'un point de vue économique, la priorité est de déployer des solutions simples, directes et peu énergivores, en minimisant les intermédiaires. Le transport par canalisation constitue aujourd'hui l'option la plus rentable, bien que sa mise en œuvre ne permette pas un raccordement rapide et universel pour l'ensemble des émetteurs. Pour les industriels concernés, la connexion à un réseau de pipeline reste une condition majeure pour garantir la viabilité économique des projets de captage.

Les projets ne prévoient pas, à ce stade, le recours à des interfaces multimodales pour les sites fortement émetteurs. À l'inverse, la gestion des flux de CO₂ biogénique issus de la filière des gaz verts (méthanisation, pyrogazéification, gazéification hydrothermale) impose une logistique plus complexe. Cette production, géographiquement diffuse, ne permet pas de bénéficier directement du réseau principal. Le développement d'un maillage de collecte, soutenu par des interfaces multimodales, devient alors indispensable pour regrouper les petits volumes et les acheminer efficacement vers les infrastructures de transport centralisé.

La question du conditionnement du CO₂, notamment à travers un transport cryogénique en phase liquide suivi d'une injection dans des réseaux de collecte ou de transport, reste économiquement incertaine mais n'est pas à écarter totalement. L'évaluation comparative de différents scénarios multimodaux – incluant camion, rail ou barge – s'avère indispensable pour optimiser la compétitivité et adapter les solutions aux réalités territoriales.

La moitié des émetteurs ayant répondu à la question de l'adéquation entre la localisation de leurs sites émetteurs et le tracé des plans de développement prospectifs nous ont signalé que le tracé actuel du Schéma Directeur à Moyen-Terme présente l'avantage de passer à proximité de leurs installations et leur offre ainsi une opportunité dans leur stratégie de décarbonation. Tandis qu'un quart des répondants émetteurs indiquent que le tracé proposé serait relativement éloigné de leur site actuel : NaTran étudie plus en détail ces retours et initie des bilatérales avec eux afin d'étudier les opportunités éventuelles. Enfin, le reste des émetteurs indique un éloignement variable, qui nécessite pour NaTran une analyse au cas par cas.

Enfin, la diversité des installations de traitement et de valorisation des déchets gérées par les opérateurs montre que les situations sont extrêmement variables en termes de volume et de composition du CO₂. Les sites à forte teneur biogénique, bien que faiblement émetteurs, peuvent représenter une opportunité à condition de disposer de solutions logistiques adaptées. La définition d'un seuil minimal justifiant le raccordement au réseau principal reste à clarifier pour faciliter les arbitrages d'investissement. La structuration d'un dispositif souple et territorialement intégré, capable d'accompagner aussi bien les grands émetteurs que les flux diffus, est donc un enjeu central pour la réussite du déploiement national du CCUS.

3.3.5 Retour des parties prenantes concernant la viabilité économique des solutions de CCUS et les soutiens étatiques/européens qu'ils attendent

À ce jour, le stockage onshore du CO₂ en France n'est pas opérationnel. Les capacités prêtes à l'échelle européenne se concentrent principalement sur les infrastructures offshore. Cette asymétrie appelle une réflexion stratégique : faut-il privilégier une approche coordonnée à

l'échelle européenne, en consolidant les investissements autour de hubs transnationaux financés conjointement, ou disperser les efforts à l'échelle nationale, avec des infrastructures propres à chaque État membre ? Ce choix aura un impact direct sur la lisibilité des investissements, la cohérence logistique et la compétitivité des chaînes industrielles de captage et de séquestration du CO₂.

La réussite du déploiement du CCUS dépend d'une chaîne de valeur simple et optimisée, avec le minimum d'intermédiaires et un mode de transport sobre et massif. Les projets ne sont pas aujourd'hui économiquement viables sans un soutien public conséquent. À ce titre, le recours à des mécanismes d'aide comme *Innovation Fund* ou les *Contracts for Difference* (CCfD) devient indispensable. Ces dispositifs permettent de réduire l'exposition des projets aux fluctuations du marché du carbone et à la concurrence internationale, tout en offrant une visibilité durable sur les coûts de production.

Il est suggéré que l'approche actuellement proposée par le « Grand Projet Industriel de Décarbonation » (GPID) étende son périmètre d'éligibilité à l'ensemble des industries dites « *hard to abate* », y compris celles liées au traitement des déchets. Il est crucial d'y intégrer un volet CCUS spécifique afin de répondre aux besoins et contraintes techniques propres à cette filière, y compris celles liées au traitement des déchets. Il est crucial d'y intégrer un volet CCUS spécifique afin de répondre aux besoins et contraintes techniques propres à cette filière.

Cependant, les dispositifs européens, tels que l'*Innovation Fund*, sont aujourd'hui perçus comme trop complexes, peu accessibles et insuffisamment adaptés au calendrier industriel. Leur lourdeur administrative et leur faible taux de réussite constituent des freins pour les industriels qui cherchent à sécuriser leurs investissements rapidement. L'innovation devrait être valorisée sans être imposée comme un prérequis absolu : l'architecture même d'un projet CCUS, par l'assemblage de briques technologiques, représente déjà une forme d'innovation qui mérite reconnaissance dans l'analyse des risques.

En ce sens, l'évaluation économique fondée sur un indicateur intégré – rapportant le coût technologique net (après soustraction des recettes ETS) au nombre de tonnes de CO₂ évitées – montre clairement que sans aide publique, aucun projet de CCS ne peut être envisagé à ce stade. C'est donc la mise en place de dispositifs souples, lisibles et accessibles qui conditionnera la capacité de la France à se positionner au cœur d'une stratégie européenne ambitieuse pour la neutralité carbone.

3.3.6 Retour des parties prenantes concernant l'intégration progressive de nouveaux émetteurs

Le développement d'un réseau national de transport du CO₂ repose sur une capillarité accrue des infrastructures, couplée à la mise en place de hubs de connexion capables de recevoir des flux multimodaux – camions, citernes ferroviaires, voire barge. Cette structuration doit permettre de raccorder les nouveaux émetteurs par le biais de points d'injection dédiés. Cela implique la création de stockages intermédiaires, d'étapes de compression et d'accès logistiques diversifiés, adaptés à la localisation et au volume de chaque site.

La distance séparant ces émetteurs des stockages onshore ou des ports d'exportation constitue un critère déterminant pour choisir entre une connexion directe ou un transit via carboéduc. Cette coordination logistique est avant tout du ressort des opérateurs de réseau. L'exemple de Fluxys en Belgique illustre une approche anticipée et territoriale : à partir d'une large enquête sur les besoins futurs en transport de CO₂, l'opérateur a dimensionné ses infrastructures en fonction du débit potentiel estimé.

En France, la mise en place de petits réseaux en PEHD (moins de 10 bars, 80 km maximum) destinés au transport en phase gazeuse du bioCO₂ devrait être facilitée par la publication

prochaine du Guide canalisations de transport de biogaz et bioCO₂, corédigé par le Club Biogaz et la DGPR. Ce maillage local jouera un rôle clé dans la collecte des flux diffus et leur raccordement aux réseaux structurants comme ceux portés par NaTran et Teréga.

L'intégration de nouveaux émetteurs dans ces infrastructures ne doit pas se faire au détriment des acteurs déjà engagés. Au contraire, elle doit favoriser l'effet d'échelle et permettre une baisse du coût unitaire d'accès aux infrastructures pour tous. Il est attendu que les entrants contribuent aux coûts de développement passés, dans une logique équitable.

Enfin, l'ouverture des infrastructures à tous les acteurs, avec une tarification transparente et régulée, est un principe structurant. La régulation des tarifs sur les infrastructures mutualisées, sur le modèle de ce qui existe pour les réseaux de gaz naturel, permettrait de garantir l'équité, la compétitivité et la viabilité économique du système. La mutualisation des coûts entre utilisateurs est essentielle pour amplifier les volumes transportés et optimiser le dimensionnement du réseau, tout en facilitant le raccordement des futurs émetteurs.

3.3.7 Retours des parties prenantes concernant les contraintes de planning liées aux procédures de permis, aux décisions d'investissement, ...

Dans le cadre des projets de CCS, la réussite de la phase de déploiement peut nécessiter la mise en œuvre de solutions de transport intermédiaires, notamment par camion ou par train, en attente de l'extension des infrastructures structurantes. Ces solutions doivent permettre de raccorder efficacement les émetteurs aux futurs hubs ou sites de stockage, tout en minimisant les délais de mise en service.

Toutefois, l'acceptabilité publique demeure un point de vigilance majeur. À ce jour, l'absence visible de communication dédiée et portée par l'État sur le sujet constitue un handicap sérieux. Sans information claire, la mobilisation des territoires risque de ralentir significativement le processus d'autorisation et d'engagement des projets.

L'un des défis les plus structurants concerne l'alignement des trois acteurs clés : émetteur, transporteur et stockeur. Chacun développe son projet selon des contraintes propres, mais l'interdépendance des plannings rend impératif un calendrier commun. Un retard ou une hésitation d'un seul acteur induit une cascade d'ajustements pour les autres, et peut aboutir à une immobilisation d'actifs non utilisés pendant plusieurs mois. Cette chaîne de synchronisation repose principalement sur deux étapes critique : l'obtention des autorisations administratives et la décision finale d'investissement (FID).

Le permitting constitue aujourd'hui un point dur sur le chemin critique. La chaîne de valeur CCUS implique des infrastructures variées dont les procédures d'autorisation diffèrent fortement en durée et en complexité. Une coordination de ces processus est indispensable, avec des délais maîtrisés et des dispositifs accélérés spécifiquement conçus pour les projets CCUS. À défaut, l'alignement des jalons tels que le FEED (*Front-End Engineering Design*), la FID (*Final Investment Decision*) ou le COD (*Commercial Operation Date*) deviendra illusoire, ralentissant l'ensemble des décisions industrielles.

En somme, l'optimisation du déploiement des projets CCS exige une coordination renforcée entre les acteurs, un effort concerté de sensibilisation publique, et une refonte des procédures réglementaires pour que le permitting ne soit plus un obstacle, à la transition industrielle bas-carbone.

3.3.8 Retours des parties prenantes concernant les modalités pour couvrir les risques de déphasage des plannings entre émetteurs et opérateurs d'infrastructures ainsi que pour

anticiper l'inadéquation entre le dimensionnement des infrastructures initiales et les réels volumes sur le long terme

La fermeture anticipée de grands sites industriels émetteurs de CO₂, avant la mise en service des infrastructures de transport et de stockage, constitue un risque critique pour l'équilibre économique des réseaux CCS. Pour y pallier, il est essentiel de garantir un engagement ferme des injecteurs — en particulier dans une phase où les infrastructures ne sont pas encore complètement opérationnelles.

L'installation de solutions de stockage intermédiaire, situées au plus près des futurs points d'injection, a été proposée par l'une des parties prenantes. Ces stockages permettent de compenser les décalages de planning et d'assurer la continuité du captage en évitant les pertes d'opportunité. Le stockage sous forme liquide est techniquement plus maîtrisé, mais il induit des coûts énergétiques significatifs liés au changement de phase, qui doivent être intégrés dans les modèles économiques des projets.

À ce stade, l'absence d'alignement entre les acteurs industriels — en particulier entre émetteurs et infrastructures de transport/stockage — pousse certains à différer leurs investissements CCS. En attendant la maturité du système, des solutions de réduction d'émissions alternatives, parfois moins efficaces ou stratégiques, sont mises en œuvre, faute d'un cadre opérationnel partagé.

La possibilité de réserver des capacités de transport ou de stockage, avec des garanties associées, serait un catalyseur décisif. Cela suppose une évolution du cadre réglementaire : une fois le dossier administratif complet déposé, la mise en place d'une validation de principe par l'État permettrait aux acteurs de planifier leur investissement sur des bases solides. Cette validation ne se substituerait pas aux procédures d'instruction, mais permettrait de les conduire en "temps masqué" (parallèlement aux décisions industrielles), réduisant ainsi les incertitudes et facilitant l'alignement des plannings entre émetteurs, transporteurs et opérateurs de stockage.

3.3.9 Retours des parties prenantes concernant l'organisation du marché dans le futur

La mise en place d'un **certificat de garantie d'origine** pour le CO₂ biogénique constituerait un jalon essentiel pour assurer la traçabilité et la valorisation environnementale dans les chaînes CCUS. En distinguant clairement le CO₂ issu de sources biogéniques du CO₂ fossile, ce certificat renforcerait la cohérence réglementaire avec les objectifs climatiques, faciliterait l'éligibilité aux mécanismes de soutien, et favoriserait la valorisation dans les marchés volontaires ou réglementés.

Le déploiement des projets CCUS repose sur une **multiplicité d'acteurs** – producteurs, transporteurs, utilisateurs, stockeurs – liés par des partenariats intersectoriels. Cette diversité impose une gouvernance du marché agile et évolutive, capable d'intégrer les volumes capturés, les capacités logistiques disponibles (transport et injection), ainsi que les débouchés : séquestration géologique ou valorisation industrielle du CO₂.

La **cohérence économique** est également clé. Le coût global de la chaîne CCUS doit rester compatible avec l'évolution du prix des quotas ETS (*European Trading System*), afin d'assurer un équilibre financier viable pour les industriels. En parallèle, la mise en place de **tarifs réglementés d'accès aux réseaux de transport et de stockage** permettrait :

- de garantir une connexion compétitive pour les petits et moyens émetteurs,
- de lisser les incertitudes financières liées à la volatilité des marchés,
- et d'apporter une **visibilité long terme** pour les usagers, condition indispensable à la prise de décision d'investissement.

3.3.10 Retours des parties prenantes concernant la valeur à tracer le CO₂

Dans l'objectif de décarboner des sites industriels dits *hard-to-abate*, dont certains sont isolés ou engagés dans des procédés sans alternatives techniques, le recours au CO₂ biogénique apparaît comme une solution particulièrement pertinente. La séquestration de ce type de carbone permettrait d'atteindre un bilan-masse négatif, avec à la clé la génération **d'émissions négatives valorisables à travers des certificats de garantie d'origine**. Ces certificats contribueraient à distinguer le CO₂ biogénique du CO₂ fossile, assurant ainsi sa reconnaissance réglementaire, son traçage tout au long de la chaîne de transport et sa valorisation par les émetteurs ou les utilisateurs finaux, notamment dans le cadre du système EU ETS ou de marchés carbone volontaires.

La traçabilité du bioCO₂ dans des réseaux de transport où se mélangent différentes origines devient un enjeu central, en particulier pour des débouchés réglementés tels que la production de e-carburants ou le stockage géologique. Cette traçabilité pourrait être assurée par un dispositif de **certification** inspiré des mécanismes en place pour le biométhane, garantissant transparence et fiabilité. Il est en revanche essentiel que les volumes injectés soient quantifiés précisément et correctement attribués aux émetteurs concernés, sans nécessairement recourir à des intermédiaires, à condition que le cadre réglementaire soit bien défini.

Des groupes de travail sont actuellement mobilisés à l'échelle européenne (ERGaR, EBA) et française (Club CO₂) pour élaborer les conditions de certification du bioCO₂. Bien qu'aucun consensus n'ait encore émergé, les discussions avancent sur les modalités de reconnaissance de cette ressource à haute valeur ajoutée. La confiance dans la destination du CO₂ jusqu'au site de séquestration, et le possible transfert de responsabilité en fin de vie d'un site émetteur, constituent enfin des points d'attention indispensables pour sécuriser la valeur climatique des opérations et garantir leur intégration réglementaire.

3.3.11 Retour des parties prenantes sur leur contractualisation afin de sécuriser leur valorisation

Certaines entreprises impliquées dans la chaîne CCUS – notamment spécialisées dans la capture, la purification, la liquéfaction ou la compression du CO₂ – cherchent aujourd'hui à élargir leur contribution en facilitant l'accès aux solutions pour les émetteurs de taille intermédiaire. Une démarche d'agrégation des volumes serait particulièrement utile pour optimiser la logistique et permettre le raccordement plus efficace aux infrastructures de transport et de stockage.

Dans cette logique, une structuration économique claire est essentielle. Cela inclut la préférence pour des tarifs régulés de transport et des durées contractuelles modérées, idéalement inférieures à dix ans, afin d'assurer la compétitivité de l'accès aux infrastructures et de permettre aux émetteurs de planifier leurs investissements sans contrainte excessive.

Pour les infrastructures de stockage et de transport, des contrats d'accès à long terme – jusqu'à vingt ans – sont considérés comme nécessaires pour sécuriser les engagements de volumes. Parmi les solutions envisagées, les mécanismes de type *contract for difference* sont particulièrement prometteurs. Inspirés des dispositifs mis en œuvre dans certains pays, ces contrats permettent aux émetteurs de CO₂ de bénéficier d'une compensation sur les coûts de transport et de stockage, prise en charge par l'État via un système de « *pass-through* ». Ce cadre facilite la viabilité économique des projets en réduisant l'exposition aux fluctuations du marché.

Enfin, dans les échanges entre industriels, des mécanismes contractuels tels que les engagements "*put-or-pay*" ou "*take-or-pay*" sont jugés nécessaires pour garantir la sécurité

économique des exploitants d'infrastructures, tout en assurant aux émetteurs un accès pérenne en contrepartie d'un engagement sur les volumes.

3.3.12 Retour des parties prenantes concernant la manière dont le marché doit se développer afin de s'éloigner d'un système point à point

Face aux défis liés à la gestion spécialisée des réseaux de transport par canalisation, le développement de **solutions onshore de stockage** ainsi que **de points d'agrégation** apparaît comme une voie pragmatique pour ouvrir le marché à une plus grande diversité d'émetteurs. Ces infrastructures peuvent jouer un rôle clé dans la constitution de volumes mutualisés et permettre ainsi un accès plus souple aux futurs réseaux de transport et de stockage de CO₂.

Dans une perspective d'accélération du déploiement de la filière, l'émergence de infrastructures interconnectées, sur le modèle de ce qui existe dans le marché du gaz naturel, offrirait de nouvelles opportunités de maillage territorial, de modularité et de sécurité d'approvisionnement pour les utilisateurs de CO₂, tout en diversifiant les capacités de stockage disponibles.

Au cœur de cette dynamique, le développement d'infrastructures de transport mutualisées visant à alimenter à la fois des sites de séquestration et des utilisateurs industriels est considéré comme central. La logique de cluster et de mutualisation des investissements, au vu des coûts élevés associés à la chaîne CCUS, constitue un levier essentiel pour structurer le secteur, créer des synergies entre les acteurs et réaliser des économies d'échelle.

3.3.13 Retour libre des parties prenantes

Le développement du CCUS repose en grande partie sur la capacité à valoriser le CO₂ biogénique au-delà de sa simple valeur commerciale. Si les marchés CCU actuels ou émergents — tels que l'alimentaire, la chimie, le médical, ou encore les e-carburants — permettent uniquement à l'utilisateur final de bénéficier de la valeur de l'émission négative intrinsèque à la molécule biogénique, sans partage avec l'émetteur, alors le stockage de cette molécule biogénique s'imposera comme la seule voie permettant à ce dernier de bénéficier des émissions négatives générées (via la monétisation des certificats associés). À l'inverse, si un mécanisme équitable de répartition de cette valeur est instauré, l'attractivité du CCU pour le CO₂ biogénique pourrait diminuer, limitant son développement à des applications fossiles, pourtant moins accessibles sur le plan technique et économique.

Le CO₂ biogénique issu des gaz verts — méthanisation, pyrogazéification, ... — présente des caractéristiques particulièrement favorables : sa production est stable et non saisonnière, ce qui garantit une continuité d'approvisionnement pour les infrastructures de transport et les utilisateurs. Néanmoins, sa nature géographiquement diffuse complique l'injection directe dans les réseaux existants, souvent calibrés pour des volumes plus élevés. Dans ce contexte, le déploiement de réseaux de collecte capillaires, interconnectés aux infrastructures principales, apparaît comme une solution pertinente. Leur complémentarité permet d'anticiper la montée en puissance des flux et d'offrir une connectivité progressive aux différents territoires producteurs.

La mise en œuvre du CCUS pour la décarbonation des sites industriels dépend ainsi de la structuration complète de la chaîne aval — notamment les capacités de transport et les débouchés de valorisation ou de séquestration. Plusieurs acteurs soulignent l'importance d'une approche concertée, où la diversité des volumes, qu'ils soient massifs ou diffus, puisse trouver sa place. Cette vision inclusive intègre aussi bien les grands émetteurs que les filières émergentes de production de CO₂ biogénique.

Dans une logique de souveraineté carbone et de neutralité climatique, la valorisation des émissions diffuses ne doit plus être considérée comme marginale. Elle constitue un levier stratégique pour répondre aux demandes croissantes de secteurs industriels engagés dans la transition, tout en renforçant la cohérence des infrastructures sur le territoire. De plus, ces flux peuvent contribuer à générer des émissions négatives, qu'il s'agisse de séquestration ou d'usages industriels bas-carbone, renforçant ainsi la pertinence des solutions CCUS dans l'écosystème français et européen.