

## L'étude du Club CO<sub>2</sub> sur un schéma de transport de CO<sub>2</sub> en France :

### Un éclairage inédit sur les besoins d'infrastructures de CO<sub>2</sub> en France dans le contexte du développement des chaînes CSCV (CCUS) à horizon 2030 et 2050

Avril 2023

#### 1/ Contexte de l'étude

Les scénarios Net Zero (que ce soit selon les travaux de l'IEA, de l'IFRI ou du GIEC) prennent en compte l'implémentation d'une filière de CSCV (Captage, stockage géologique et valorisation du CO<sub>2</sub>) au niveau mondial.

En France, les travaux de l'Ademe et la SNBC 2 ont confirmé le rôle du CSCV pour atteindre les objectifs de neutralité carbone et climatique. Lorsque le CCSV est envisagé, ce besoin est de l'ordre de plusieurs millions à plusieurs dizaines de millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an en France selon les différents scénarios établis par l'ADEME, en accord avec la trajectoire de réduction de la consommation énergétique. La gestion des volumes qui seront captés nécessite la planification d'un schéma de transport de CO<sub>2</sub> entre les lieux de captage et les lieux de stockage géologique ou de valorisation, schéma établi à l'échelle nationale qui prend également en compte les échanges transfrontaliers.

Dans ce contexte, le Club CO<sub>2</sub> a commandité une étude réalisée en 2022 par les cabinets de consultants eCube et DNV, avec un soutien financier de l'ADEME<sup>1</sup>. L'étude vise à l'identification des perspectives de développement des infrastructures qui seront nécessaires au transport du CO<sub>2</sub> capté en France vers des sites de valorisation ou de stockage géologique à l'horizon 2030 et 2050.

Basée sur des hypothèses présentées ci-après, cette étude prospective permet d'identifier les études supplémentaires qui doivent être menées pour disposer d'une vision systémique et être en capacité de faire des choix sans regret pour le développement d'infrastructures nécessaires au fonctionnement de la filière CCSV.

L'étude a été finalisée début 2023 et ses conclusions font l'objet d'un rapport détaillé mis à disposition des membres et des pouvoirs publics. Lors d'un webinaire, le Club CO<sub>2</sub> présentera une synthèse publique des conclusions et enseignements livrés par l'étude, la première de cette ampleur en Europe/France.

L'étude répond à un cahier des charges ambitieux en 4 parties :

1. Cartographier les besoins de transport de CO<sub>2</sub>
2. Rassembler une base de données de coûts de transport
3. Proposer des options d'infrastructure
4. Chiffrer les investissements potentiels, et les illustrer avec des exemples

En complément, le Club CO<sub>2</sub> souhaite alimenter la réflexion publique en mettant à disposition une cartographie des émissions des émetteurs et des procédés émetteurs biogéniques et anthropogéniques sur des seuils non envisagés jusqu'à présent dans des travaux de consolidation (1 ktCO<sub>2</sub> et 5 ktCO<sub>2</sub> émis par an), et sur l'ensemble du territoire jusqu'à la maille cantonale. L'étude permet pour la première fois, et en amont de futurs travaux qui préciseront et consolideront les résultats, de percevoir les enjeux, les opportunités et les besoins de planification liés à l'émergence de la filière CSCV en France. L'étude permet également d'avoir une première visualisation de l'impact du CSCV dans la transformation du tissu industriel et énergétique émetteur pour le pays et ses territoires.

---

<sup>1</sup> Se référer également à l'édito de l'Ademe, complétant le rapport de synthèse, et consultable directement ici : <https://www.club-co2.fr/files/2023/05/Edito-Ademe-Etude-du-Club-CO2-sur-les-schemas-infrastructures-de-transport-du-CO2-en-France-vf.pdf>

*L'étude apporte un éclairage inédit sur les besoins d'infrastructures de CO<sub>2</sub> en France dans le contexte du développement des chaînes CSCV (CCUS) à horizon 2030 et 2050.*

### Qui est le Club CO<sub>2</sub> ?

Le Club CO<sub>2</sub> est une association regroupant, au 1<sup>er</sup> janvier 2023, 57 membres français parmi des industriels, des acteurs publics et académiques engagés dans la maîtrise et la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.

Les membres sont actifs sur l'ensemble de la chaîne de valeur du CSCV (technologie, conception, équipements, chaîne d'ingénierie, services de gestion et de transport de gaz, opérations de stockage du CO<sub>2</sub>, notamment géologique). Certains membres sont aussi des acteurs de la R&D et centres de développement et d'innovation technologiques, des associations, ou encore des industriels émetteurs qui veulent réduire leurs émissions de CO<sub>2</sub>. Le Club CO<sub>2</sub> est un lieu d'information, d'échange et de réflexion collective, sur les enjeux, les problématiques communes aux membres, et les orientations scientifiques, politiques et stratégiques de la filière CSCV.

### 2/ Bases d'étude, méthodologie et hypothèses

Dans son rapport de prospective « Transition(s) 2050. Choisir maintenant. Agir pour le climat »<sup>2</sup>, paru fin 2021, l'ADEME présente quatre scénarios « types » cohérents et contrastés pour conduire la France vers la neutralité carbone, ayant pour ambition de nourrir les délibérations collectives, en particulier celles sur la prochaine Stratégie française énergie – climat.

Par une démarche analogue, l'étude considère trois scénarios qui s'inscrivent tous dans la stratégie de neutralité carbone de la France en 2050, qui considèrent des contributions croissantes du CSCV et sur deux horizons de temps, 2030 et 2050 (annexe 6a).

Elle met en regard les sources d'émission et les points d'enlèvement du CO<sub>2</sub> (capacités de stockage géologique du CO<sub>2</sub> sur le territoire national, stockages géologiques à l'international via des ports d'exportation, sites de transformation/utilisation du CO<sub>2</sub>), en considérant, selon les scénarios, différentes hypothèses dimensionnantes pour la planification du développement des infrastructures.

Concernant les émissions considérées, elles incluent les sources anthropogéniques de plus de 5kt<sub>CO2</sub>/an ainsi que les sources biogéniques de plus de 1kt<sub>CO2</sub>/an sur le territoire métropolitain. Ces sources représentent actuellement ~120 Mt<sub>CO2</sub>/an sur 3100 sites (annexes 6b et 6c). Elles baissent tendanciellement dans les scénarios avec une décroissance sensible des émissions fossiles, une croissance des émissions associées à la production et usage de gaz verts. L'étude confirme une décroissance nette des émissions de CO<sub>2</sub> en 2050 (annexes 6b et 6c). L'étude analyse également la part du captage des émissions biogéniques ainsi que les besoins de captage atmosphérique considérés dans les scénarios de type Transition(s) ADEME S4 où le CSCV a la plus large contribution.

En matière de stockage, l'étude a utilisé des estimations de ressources prospectives permettant le stockage géologique du CO<sub>2</sub> sur le territoire national (onshore), résultats obtenus d'études préliminaires

---

<sup>2</sup> <https://transitions2050.ademe.fr>

antérieures (Vasco, Strategy CCUS/Pilot Strategy et projet PYCASSO). La prise en compte de ces volumes de stockage (annexe 6d) a un impact important sur les schémas de transport. Les estimations de volumes sont cependant très préliminaires et pourraient être revues dans certains bassins. Une des recommandations portées par l'étude est de mener des investigations complémentaires qui permettront d'affiner les ressources réellement disponibles en France aux échéances 2030 et 2050, et de conforter les scénarios.

Enfin, l'élaboration et l'analyse des infrastructures de transport repose sur la recherche d'un optimum économique au périmètre du captage et du transport des volumes de CO<sub>2</sub> captés, tout en minimisant l'impact environnemental (faibles émissions spécifiques du mode de transport retenu). Elle est par ailleurs statique et déterministe, c'est-à-dire qu'elle n'a pas étudié les scénarios transitoires entre 2030 et 2050. Cette méthodologie, pertinente au vu des objectifs de l'étude, présente donc certaines limites: elle favorise le transport par pipeline (carboducs) à plus faible impact d'émission, et ne modélise pas finement les modes de transport alternatifs (barge, rail, camion...) pour la collecte du CO<sub>2</sub> vers les sites de valorisation et les lieux de stockages onshore ou points d'export.

*Basée sur plusieurs scénarios et deux horizons de temps, 2030 et 2050, sur l'ensemble du territoire métropolitain, l'étude a considéré le rôle du CSCV, sur l'ensemble du spectre (allant jusqu'aux émissions biogéniques et anthropogéniques de faible volume), dans le but d'apporter un éclairage permettant d'orienter les instructions complémentaires à mener.*

### **3/ Développement des scénarios, et limites de l'étude**

L'étude s'appuie sur les éléments dimensionnants de trois des scénarios « Transition(s) 2050 » de l'ADEME, avec, toutefois, des ajustements et amendements, notamment la prise en compte des évolutions de la réglementation REfuel EU Aviation, mais pas REfuel EU Maritime, publié en mars 2023<sup>3</sup>) et sur les accès aux stockages (export et nationaux). En particulier, ont été intégrées de nouvelles hypothèses de valorisation orientées vers la production de carburants de synthèse<sup>4</sup> liquides (e-kérosène, e-methanol, chimie – définition des e-fuels en note<sup>3</sup>). A noter que le e-méthane est produit sur des boucles locales, ne nécessitant pas d'importants moyens de transport de CO<sub>2</sub> (le e-méthane peut en effet être directement auto-consommé ou injecté dans le réseau de gaz existant).

Par rapport aux études précédemment publiées (Avis Ademe, Transitions 2050, bases de données ODRE, SIRENE, INSEE, GrDF, GRTGaz, Solagro), les approfondissements ont également porté sur la territorialisation des émissions à une maille locale, par site, et sur l'impact des stratégies de mise en œuvre des potentiels de stockage et de valorisation, pour une estimation des besoins d'infrastructures de transport.

*L'étude explore les besoins de recours au CSCV et les contraintes résultant de l'impératif de neutralité carbone dans une large palette de trajectoires possibles, afin d'alimenter la réflexion et le débat public autour d'un schéma de gestion du CO<sub>2</sub>. Si elle conduit à des propositions de flux de transport de CO<sub>2</sub>, qui peuvent permettre d'identifier des actions approfondies à mener et des choix sans regrets, cette étude ne se traduit pas par une anticipation ni des préconisations du Club CO<sub>2</sub> pour une trajectoire précise d'émissions futures pour la France.*

---

<sup>3</sup> La feuille de route de décarbonation de la filière maritime publiée en avril 2023 fait état d'un besoin de e-carburant (essentiellement) et bio carburants (disparaissant par manque de ressources en 2050 au profit d'autres usages tels que l'aérien) d'environ 15 à 30 TWh/an, soit l'équivalent de 4 à 8 MtCO<sub>2</sub>/an. Document Evolen.org. FDR 301 Maritime - RédactionV8-final-aveccouv-v3 (evolen.org)

<sup>4</sup> Les carburants de synthèse, ou e-fuels en anglais, regroupent tous les carburants, sous forme liquide ou à l'état gazeux, produits à partir d'électricité renouvelable (issu du solaire ou de l'éolien par exemple) ou décarbonée. Cette matière première les différencie des biocarburants, produits en premier lieu à partir de la biomasse.

#### 4/ Les résultats

En 2050, un taux de captage de CO<sub>2</sub> de 20 à 100 MtCO<sub>2</sub>/an (suivant les scénarios – annexe 6e) serait nécessaire pour atteindre la neutralité carbone. Parmi ce volume, 10 à 70MtCO<sub>2</sub> par an nécessiteraient la mise en place d’une infrastructure de transport (annexe 6e), qui pourrait, selon les scénarios, varier entre une infrastructure locale et une infrastructure massive et longue distance. À horizon 2030, le besoin maximum de transport de CO<sub>2</sub> envisagé est de 18 MtCO<sub>2</sub>/an, pour le scénario le plus ambitieux.

Ces scénarios établissent le besoin d’infrastructures en supposant le transport de CO<sub>2</sub> majoritairement réalisé par pipeline (carboducs), selon les cas de références 2030 et 2050 (présentés en annexe 6f et 6g).

L’étude note également que la barge, le rail et le camion présentent un intérêt économique et logistique dans certains cas. Dans la phase de transition précédant la mise en place d’infrastructures par pipeline, ils présentent également une opportunité pour le lancement de la chaîne de CSCV.

Ces trois scénarios couvrent un champ d’hypothèses large (annexes 6f et 6g) :

- Dans le scénario à 10 MtCO<sub>2</sub>/an, le CO<sub>2</sub> serait capté sur une centaine de gros sites émetteurs situés dans des clusters locaux à Dunkerque, Fos-sur-Mer, dans le Sud-Ouest ainsi qu’au Havre. Quelques axes de carboducs (~1 200km) permettent d’alimenter principalement la zone du Havre et un point d’export dans le Sud-Ouest.
- Le scénario intermédiaire (35 MtCO<sub>2</sub>/an) envisage le développement complémentaire de grandes artères nationales alimentant en particulier un hub de valorisation localisé au Havre et la zone de stockage onshore de Lacq. Près de 5 000 km de carboducs seraient ainsi nécessaires pour transporter les émissions d’~350 sites dont la taille moyenne est plus faible (~100ktCO<sub>2</sub>/an) que ceux considérés dans le scénario 10 MtCO<sub>2</sub>/an.
- A l’inverse, le scénario à 70 MtCO<sub>2</sub>/an repose sur le captage du CO<sub>2</sub> (notamment biogénique) dans un réseau diffus de plus de 800 sites et son acheminement via un réseau ramifié et dense de près de 10 000 km. Il est composé de grandes artères nationales vers i) un hub de valorisation au Havre dédié au carburant pour l’aviation ; ii) des hubs de stockage onshore significatifs dans le Sud-Ouest et dans le Bassin parisien ; iii) un pôle d’exportations massives depuis Dunkerque vers la Mer du Nord. Dans ce scénario, les émissions captées à Fos sont principalement orientées vers le stockage de Lacq, et vers une valorisation locale, avec une possibilité d’export vers des stockages en Méditerranée.

Le coût logistique complet de l’infrastructure de transport est estimé entre 30 et 36 €/tCO<sub>2</sub> selon les scénarios. Ce coût est à comparer aux hypothèses des autres coûts de la chaîne CSCV (hors scope de l’étude) qui sont estimés entre ~50-100 €/tCO<sub>2</sub> pour le captage et entre 5-30€/tCO<sub>2</sub> pour le stockage.

Le coût total de la chaîne CSCV place cette solution parmi les solutions efficaces pour le climat<sup>5</sup>, en termes de coût à la tonne de CO<sub>2</sub> évitée, et ce d’autant plus que ce coût est inférieur à la trajectoire-cible de la valeur de l’action pour le climat à moyen et long terme (250 €/tCO<sub>2</sub> en 2030 et environ 775 €/tCO<sub>2</sub> en 2050)<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Le Club CO<sub>2</sub> met en évidence, dans son position paper sur le CSCV émis en octobre 2021, que le CSCV est à considérer dans le portefeuille des solutions, en complément de l’amélioration de l’efficacité énergétique, de la diversification du mix énergétique vers des combustibles décarbonés comme la biomasse, de l’électrification des usages, qui sont identifiés comme prioritaires pour l’atteinte de la neutralité carbone à horizon 2050.

<sup>6</sup> Source : Rapport Quintet de 2019 - France Stratégie 2019 « LA VALEUR DE L’ACTION POUR LE CLIMAT Rapport de la commission présidée par Alain Quinet ».

L'étude met en avant quelques possibilités de reconversion d'oléoducs et de gazoducs existants, avec des gains de réduction de coûts de développement notables. Le potentiel de reconversion de l'existant est néanmoins estimé comme étant assez faible, du fait des défis techniques qu'il pourrait engendrer, du maintien de réseau de canalisations gaz nécessaires à la collecte du biogaz, et de la mise en place d'un réseau hydrogène, l'étude considérant dans ses hypothèses la maturité de l'économie hydrogène sur l'ensemble du territoire

L'étude contient également un grand nombre de tests de sensibilité, établis en comparaison avec le cas de référence (annexe 6h). Des lignes de cohérence se dégagent des différents scénarios et sensibilités permettant d'identifier **des études complémentaires à mener pour des choix sans regret** dans le cadre d'un schéma directeur, notamment :

- **Le développement d'infrastructures portuaires d'export de CO<sub>2</sub> vers la Mer du Nord (Dunkerque, Le Havre et Saint Nazaire<sup>7</sup>) ainsi qu'un terminal côtier d'export à Fos-Sur-Mer<sup>8</sup> ;**
- **Le besoin de qualification et le développement de capacités de stockage géologique onshore (Sud-Ouest, Bassin parisien) pour être en mesure de confirmer cette option de stockage souverain sur le territoire ;**
- **Le besoin d'axes de transport robustes (e.g. axe Seine, axe Fos-Lacq, frontière Allemagne-Luxembourg-Belgique, axe Nancy - Paris).**

La géométrie du schéma optimal d'infrastructures à long terme présente néanmoins des incertitudes importantes, avec pour principaux paramètres :

- La confirmation du niveau de développement possible pour le stockage onshore en France, du fait du besoin d'affiner les capacités et des enjeux liés à l'acceptabilité.
- Les capacités réellement accessibles à la France pour le stockage en Méditerranée (e.g. offshore national et pays du pourtour méditerranéen), et sur la façade Atlantique.
- L'incertitude sur le calendrier de développement des filières de valorisation du CO<sub>2</sub> et leur ampleur, qui renforcerait l'intérêt de co-localiser ces sites avec des zones d'export et/ou de stockage potentiel, une fois prise en compte l'accès à la ressource énergétique décarbonée nécessaire à la valorisation.
- Les synergies potentielles avec les pays frontaliers (e.g. potentiel depuis l'Espagne pour du stockage à Lacq ou potentiel d'échanges avec le Benelux et l'Allemagne). L'étude montre, au travers de sensibilités, que le réseau conserve fondamentalement son ossature géographique établie sur le cas de référence<sup>9</sup>. Les synergies auraient néanmoins un impact sur son dimensionnement, avec des modifications d'organisation dans les régions concernées.
- Les scénarios d'évolution énergétique des territoires (e.g. accès massifié à de l'hydrogène, capacité du réseau électrique).

---

<sup>7</sup> L'étude relève également une opportunité de captage dans le Sud-Ouest (au Sud de Bordeaux), potentiellement mobilisable à court terme : il s'agit d'une source de CO<sub>2</sub> concentrée, largement d'origine biogénique, avec un coût de captage faible. Globalement, et dans les 2 scénarios CSCV les plus ambitieux, la façade Atlantique dispose de plusieurs points d'export en 2050, en plus de Saint Nazaire.

<sup>8</sup> Les développements annoncés dans le cadre des 6<sup>èmes</sup> PCI peuvent accélérer l'émergence de certaines infrastructures, comme par exemple, les Hubs d'export de Fos qui favorisent la collecte de CO<sub>2</sub> des émetteurs de la Vallée du Rhône, de la façade Est, via la reconversion de pipelines, et de Saint Nazaire sur la façade Atlantique.

<sup>9</sup> Le cas de référence défini dans l'étude correspond aux 3 scénarios (Annexe 6a), aux émissions inventoriées en 2030 et 2050 (Annexe 6b), à la cartographie des émissions à date (Annexe 6c), aux hypothèses sur la mise à disposition de stockages onshore (Annexe 2d, pas de stockage sur le scénario S2), à la contribution de la valorisation et de l'export du CO<sub>2</sub> dans l'estimation des besoins de transport (annexe 6e).

L'étude porte enfin une attention particulière à la question de la collecte du CO<sub>2</sub> biogénique. Les hypothèses des scénarios de l'ADEME mettent en évidence un gisement conséquent de CO<sub>2</sub> biogénique en 2050 (40-60 MtCO<sub>2</sub>/an). Alors que les gros émetteurs seront moins nombreux en 2050, le captage sur des unités de production d'énergie à partir de biomasse (BECCS) est estimé entre 15-40MtCO<sub>2</sub>/an, avec une conséquence sur le dimensionnement et la granularité du réseau. En effet, le gisement de CO<sub>2</sub> biogénique est faiblement concentré sur le territoire et la dispersion des sources du CO<sub>2</sub> biogénique nécessitera d'augmenter et de densifier les infrastructures de collecte et de transport, la fréquence de collecte dans le cas d'une logistique routière sur la boucle locale, pour alimenter les sites de valorisation.

Au niveau macroscopique, il faudra potentiellement interroger la pertinence d'une logistique commune au CO<sub>2</sub> biogénique et au CO<sub>2</sub> fossile/émis par les procédés de fabrication (chimie ou cimenterie). La question de la certification des volumes de CO<sub>2</sub> utilisable dans l'économie circulaire du carbone, issu de sources diffuses et de sa traçabilité au long de la chaîne logistique devra donc être traitée.

Plus largement, la prise en compte de la valorisation du CO<sub>2</sub> (en e-fuel et e-chimie) et du transfert des volumes de CO<sub>2</sub> nécessaire à la valorisation en des points précis du territoire, qui resteraient dans les grands bassins actuels de raffinage de carburants et de production pétrochimique à condition qu'ils disposent d'un accès aux ressources électrique et/ou hydrogène décarbonées adéquates (la prise en compte de ces scénarios et hypothèses n'était pas dans le périmètre de l'étude), ont une conséquence majeure sur l'organisation du réseau de transport. La planification de la stratégie de valorisation du CO<sub>2</sub> pour la production de e-carburants et e-produits chimiques mérite donc également une attention très particulière.

*L'étude présente des résultats exploitables pour instruire la mise en place d'un schéma de réseau de transport de CO<sub>2</sub> en France, nécessaire à la tenue des objectifs Net Zero en 2050.*

*Les cas de référence et les différentes sensibilités étudiés permettent de définir un certain nombre d'axes de réflexion pour des choix « sans regret » ou d'actions prioritaires dans la planification de la mise en place des infrastructures CSCV, ainsi que les travaux d'approfondissement nécessaires.*

## 5/ les enjeux court/moyen terme

Dans une optique de planification et de schéma directeur d'ensemble, l'étude permet d'établir les constats suivants :

- **Le besoin d'engager le dialogue avec les territoires locaux et l'ensemble des acteurs concernés doit également faire l'objet d'une attention particulière.**
- **Le développement de capacités de stockage sur le territoire national (onshore ou offshore) permettrait d'assurer le maintien et le développement d'un tissu industriel national autour du CSCV.**  
En outre, l'enjeu est stratégique : les analyses montrent qu'au niveau européen<sup>10</sup>, les capacités de stockage annoncées à ce jour par les différents projets proposés et accessibles depuis la France sont en deçà des ambitions de stockage des émissions annoncées par les différents pays à l'horizon 2030 et les années suivantes, présageant d'une concurrence pour l'accès à ces projets. La confirmation des ressources capacités de stockage en France est donc nécessaire pour qualifier le besoin d'accéder à des capacité des pays tiers.
- **Les investissements court-terme (2030) peuvent être orientés vers les zones clés de l'architecture de 2050, dont certaines font l'objet d'Appels A Projets ZIBAC<sup>11</sup> (Fos, Dunkerque, Le Havre, Saint Nazaire et zone Sud-Ouest).**
- **La période post 2030 de densification du schéma logistique devra être correctement planifiée afin d'atteindre les schémas long-terme garantissant des coûts optimaux pour la collectivité. Les diverses incertitudes devront être levées par des études adaptées.**
- **Le réseau de collecte et de transport demandera des choix stratégiques complémentaires, notamment sur la collecte du tissu des émetteurs de CO<sub>2</sub> biogénique, les acteurs de la valorisation et du stockage. Ce sera en particulier le cas si la France suit les scénarios de captage les plus importants (70 MtCO<sub>2</sub> / an à transporter), avec des investissements à programmer au sein des territoires ainsi qu'au niveau national, et transfrontalier.**

Les scénarios envisagent tous l'essor de la filière CSCV avec des opportunités notables de développement d'activités spécifiques et d'emplois directement liés au CSCV, en appui de la stratégie économique de la France (SNBC3, projet de loi « Industrie Verte », stratégie française et loi programmation « Energie et Climat » ...). Sur la base de ces premiers résultats, le Club CO<sub>2</sub> lance, par ailleurs, sur 2023-2024, une étude sur le potentiel d'emplois générés et maintenus par la filière CSCV.

Les choix et la planification stratégique associée permettront de concrétiser plus rapidement ces opportunités qui seront des atouts-clé dans une optique de décarbonation de l'industrie française.

*Le développement et l'essor d'une filière CSCV au service de l'atteinte des objectifs Net Zero requiert des choix de planification qui doivent être retenus rapidement, afin d'engager les études et travaux nécessaires.*

---

<sup>10</sup> CATF (2022). Ecart entre le financement des projets de piégeage et de stockage du carbone et les autres options de réduction des émissions.

<https://www.catf.us/fr/resource/the-gap-between-funding-carbon-capture-storage-projects-other-emissions-reduction-options/>

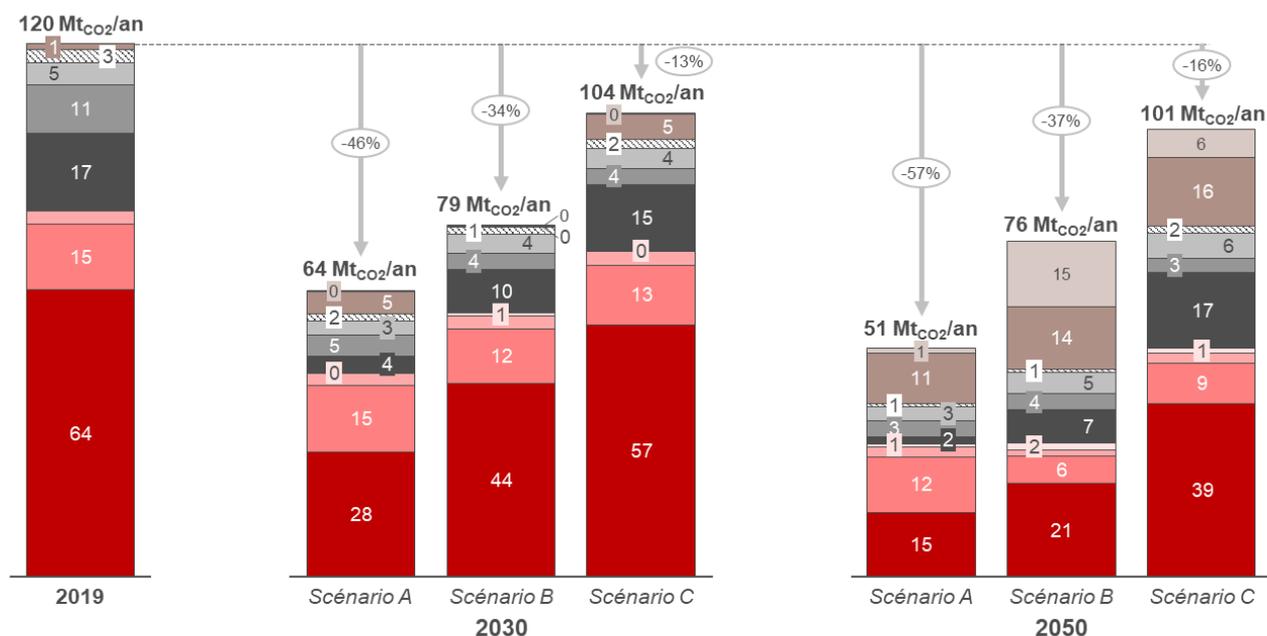
<sup>11</sup> ZIBAC – Zones Industrielles BA Carbone : décision, début 2023, de la création de ces zones, soutenues financièrement par l'État dans le déploiement de technologies, infrastructures et réseaux de décarbonation

## 6/ Annexe 1 – éléments de support extraits du rapport de l'étude

### a. Les scénarios de l'étude

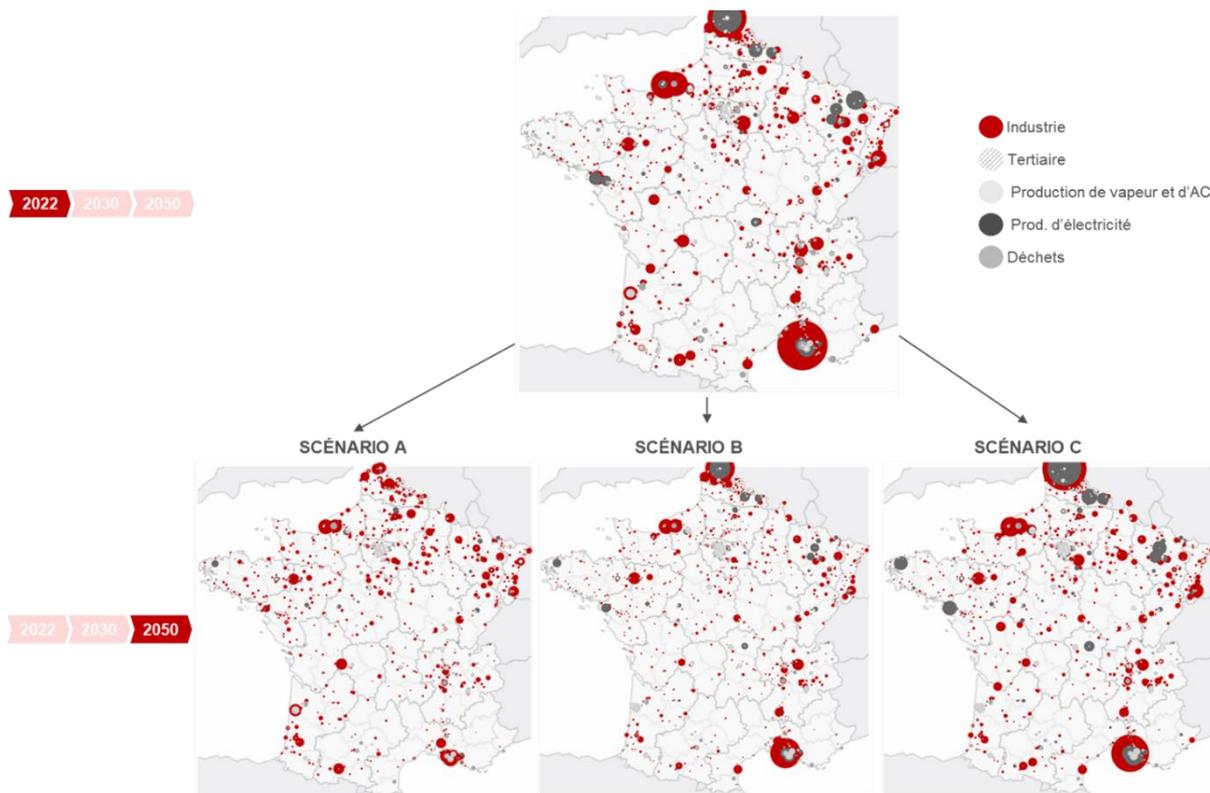
	SCENARIO A	SCENARIO B	SCENARIO C
<b>Scénario ADEME sous-jacent<sup>1)</sup></b>	<b>S2 « Coopération territoriales »</b>	<b>S3 « Technologies vertes »</b>	<b>S4 « Pari réparateur »</b>
<b>A Emissions</b>	Très forte baisse des émissions associée à une baisse drastique de la demande et aux efforts d'efficacité énergétique	Forte baisse des émissions associée à l'investissement dans des technologies de décarbonation et l'exploitation de la biomasse / hydrogène	Baisse des émissions limitée par la volonté de sauvegarder les modes de vie et de consommation présents
<b>B Captage</b>	<b>CSCV en dernier recours pour les émissions non-abattables</b>	<b>CSCV mobilisé parmi d'autres leviers de décarbonation</b>	<b>CSCV principal levier de la politique de décarbonation</b>
<b>Valo.</b>	Valorisation locale du CO2	Développement de nouvelles filières de valorisation du CO2	Valorisation ciblée sur quelques technologies
<b>C Stockage</b>	Pas de stockage sur le territoire français	Hubs d'export et de stockage, y compris sur le territoire national de façon opportuniste, dans une logique de <b>clusters</b>	Généralisation de l'accès aux infrastructures de stockage Maximisation du développement de stockages domestiques dans une <b>vision stratégique</b>

### b. Les émissions nationales modélisées en 2030 et 2050



1) France métropolitaine, >5kt/an pour les sources anthropogéniques, >1kt/an pour les sources biogéniques

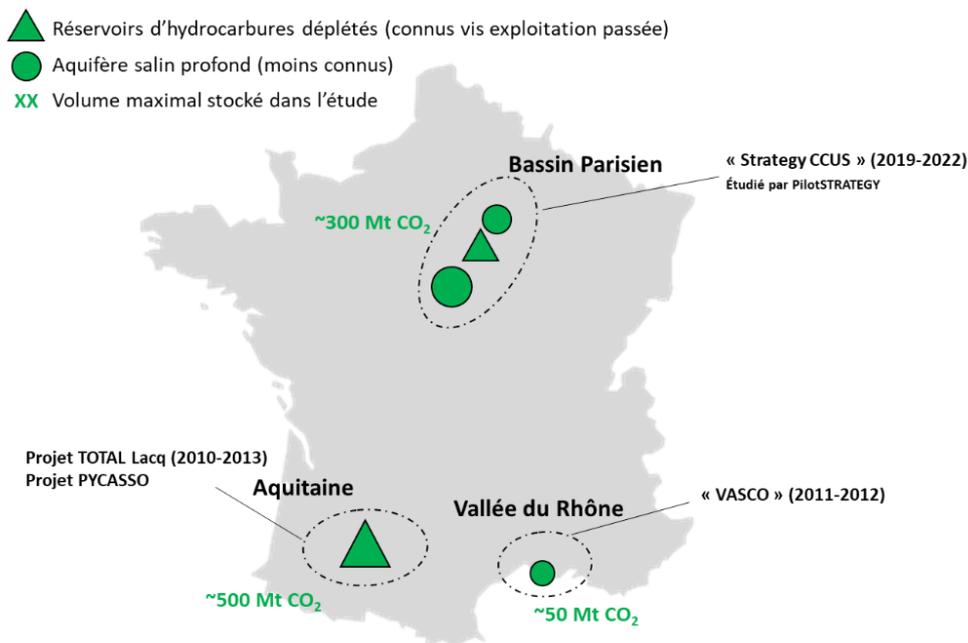
c. La cartographie des émissions projetées en 2050



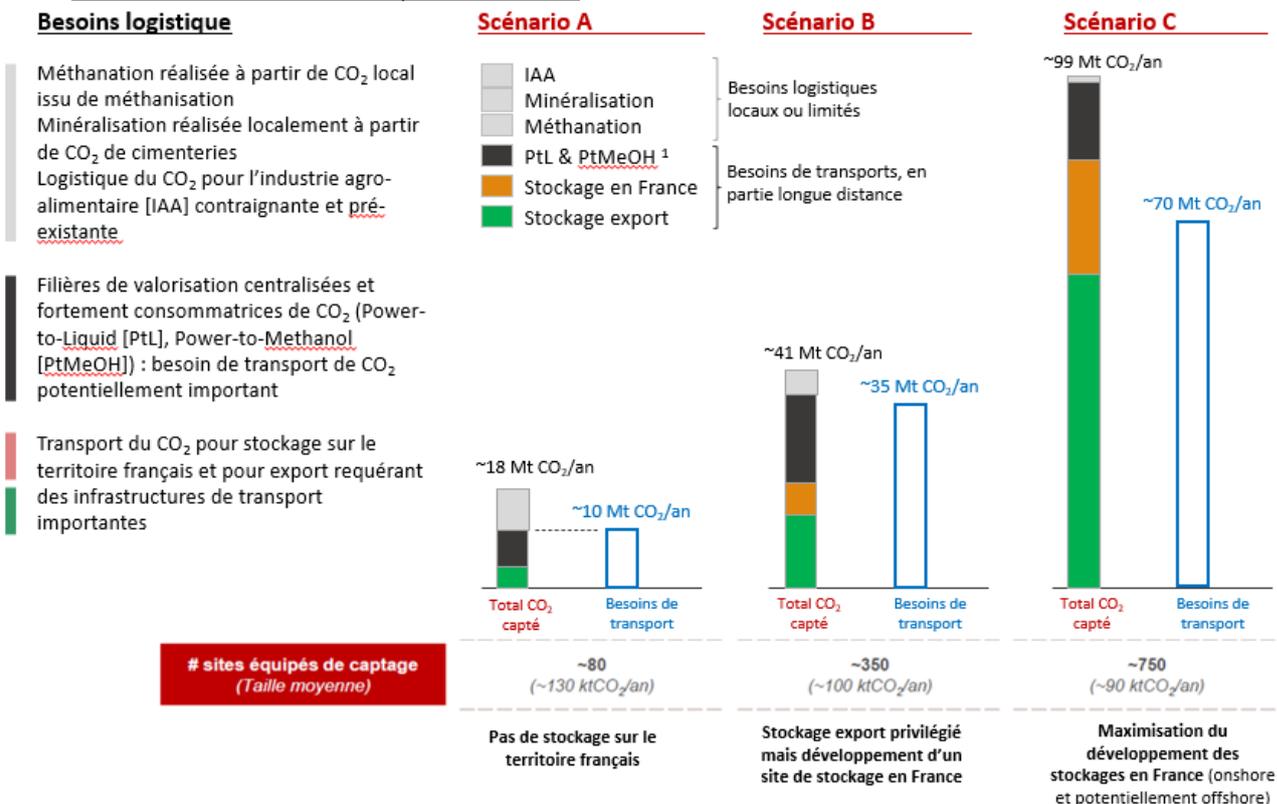
d. Les hypothèses sur les stockages onshore disponibles

Les capacités de stockage de CO<sub>2</sub> onshore identifiées en France métropolitaine sont aujourd'hui limitées en regard des objectifs les plus ambitieux : des études complémentaires devraient être menées pour préciser le potentiel réel du sous-sol métropolitain

L'acceptabilité de ces projets stratégiques nécessitera la construction d'une gouvernance partagée entre le porteur de projet et toutes les parties prenantes

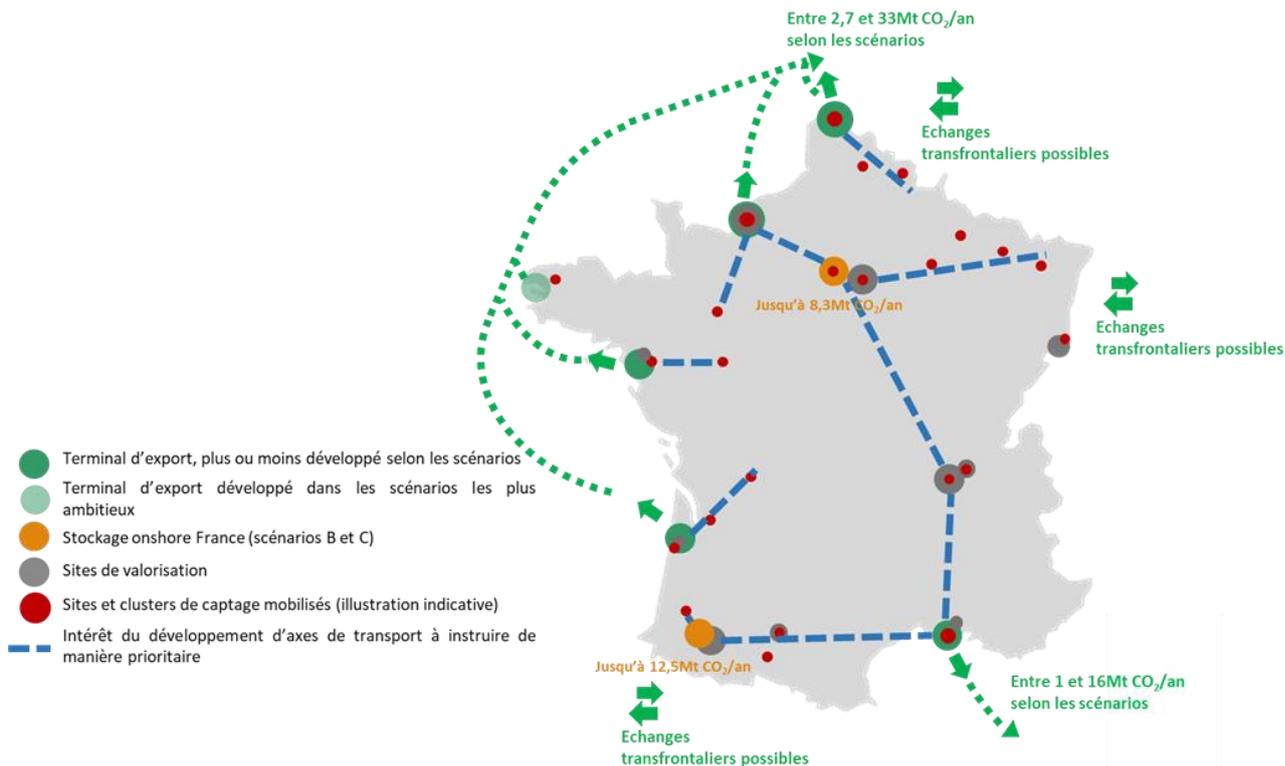


### e. Les volumes de CO<sub>2</sub> à transporter en 2050



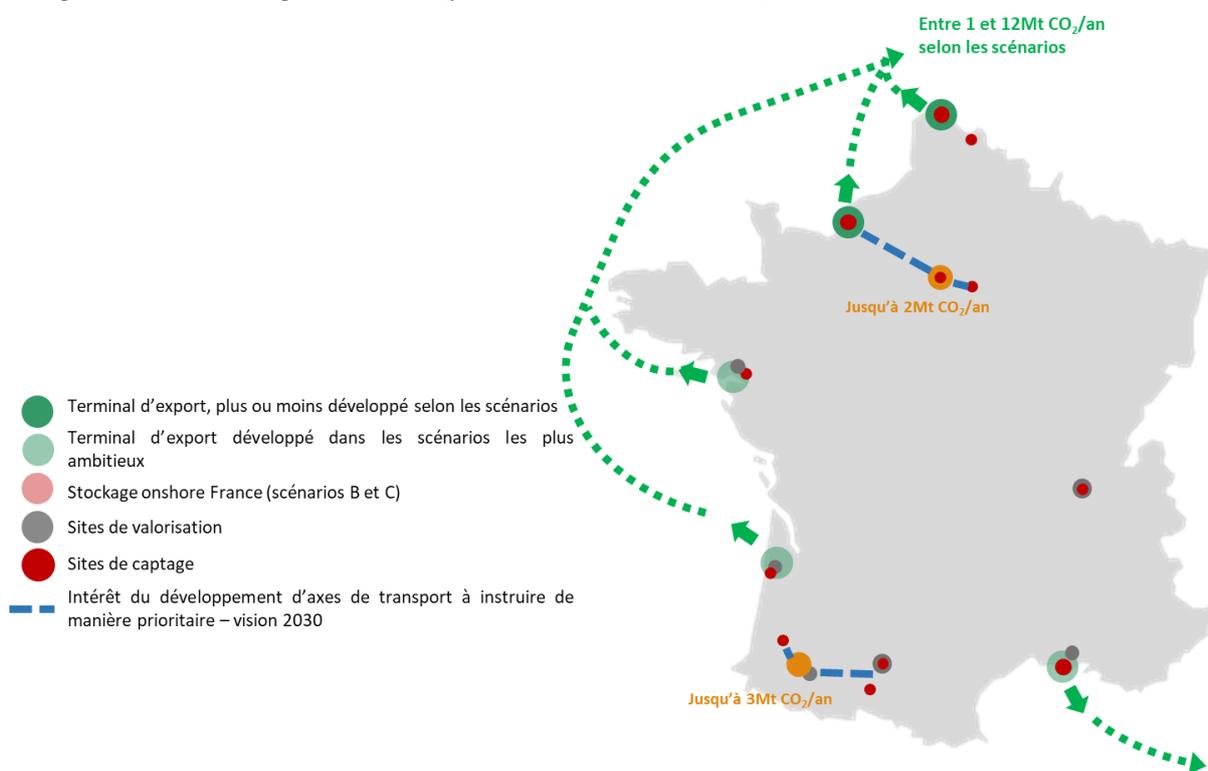
### f. Les flux de transfert modélisés en 2050 – cas de références.

Cette carte schématique ne montre par l'ensemble des émetteurs présents dans les bassins et ceux qui sont montrés ici sont proposés à titre illustratif. Les schémas d'infrastructures de l'étude considèrent l'ensemble des sites de l'annexe C.



Les tracés indiqués sont des représentations simplifiées des résultats de la modélisation des flux de CO<sub>2</sub> à transporter entre les émetteurs et des points de réception, et comportent quelques ajouts par rapport à l'étude, en lien avec les projets ZIBaC. Ils ne correspondent en aucun cas à des tracés de pipeline à projeter et n'intègrent des flux par exemple ferroviaires et/ou fluviaux qui pourraient être mis en place de façon transitoire. Les volumes d'échanges transfrontaliers seront également précisés d'ici à 2050. La carte simplifiée présentée ici mobiliserait de nombreux émetteurs dont le CO<sub>2</sub> serait capté dont une partie serait diffuse et ferait principalement l'objet d'une première collecte par camion avant transbordement dans le réseau. Par exemple, le scénario B connecterait environ 350 dont 240 émetteurs du tissu diffus, totalisant 4.4 Mt<sub>CO2</sub>/an), pour une taille moyenne d'émissions de CO<sub>2</sub> captées de 100 kt<sub>CO2</sub>/an. Les modélisations mettent en évidence un besoin de développement d'infrastructures pouvant aller de **1200km de canalisations dans le scénario A à 10500km de canalisations dans le scénario C**. L'implantation de tels réseaux et de leurs éventuelles ramifications doit faire l'objet d'études détaillées.

g. Les flux envisagés dès 2030 (pour les cas de références)



Les flux et tracés indiqués sont des représentations simplifiées des résultats de la modélisation des flux de CO<sub>2</sub> à transporter entre les émetteurs et des points de réception, et comportent quelques ajouts par rapport à l'étude, en lien avec les projets ZIBaC. Ils ne correspondent en aucun cas à des tracés de pipeline à projeter. Les modélisations mettent en évidence un besoin de développement d'infrastructures pouvant aller de **110 km de canalisations dans le scénario A à 790km de canalisations dans le scénario C**. L'implantation de tels réseaux et de leurs éventuelles ramifications doit faire l'objet d'études détaillées.

h. Les études de sensibilité considérées par l'étude

L'appréciation des propositions de l'étude au travers des cas de référence, qui développent des schémas d'infrastructure correspondant aux volumes de CO<sub>2</sub> à transporter pour les 3 scénarios, ne peut se faire sans l'appréciation des schémas proposés sur les sensibilités.

L'objectif des sensibilités est précisément de regarder quelles autres options sont envisageables – sans les tester toutes – afin de vérifier la robustesse des « choix sans regret » proposés en conclusion.

On citera par exemple la sensibilité B, sans stockage onshore souverain, la sensibilité E, qui permet de visualiser un schéma d'infrastructure dans le cas où la valorisation ne mobiliserait que 50% de volumes des cas de référence, ou la sensibilité D, qui exporte depuis Fos sans contrainte de volume (soit vers des stockages en Méditerranée, soit vers l'Europe du Nord via Gibraltar) les volumes captés dans le quart Sud-Est avec des opportunités de développement simplifiées par conversion du pipe PSE.

	Nom	Description	Principaux résultats
REF	Référence 2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respecte les contraintes fixées sur les objectifs de valorisation, les capacités de stockage onshore max., les volumes d'export dans les ports modélisés, etc.</li> </ul>	<p>Plusieurs infrastructures communes aux 3 scénarios :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Export en Mer du Nord, Export en Méditerranée / Sud de l'Europe</li> <li>Plusieurs grands axes de canalisations : Axe Seine, centralisation vers le Havre, Dunkerque et Bordeaux</li> </ul>
A	Sans contraintes onshore 2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laisse le choix des volumes stockés onshore à l'optimisation</li> <li>Analyse le bénéfice des stockages onshore pour la collectivité vs. l'export</li> </ul>	<p>Préférence pour le remplissage onshore vs. export dans les scénarios A et B - pas d'impact sur le scénario C maximisant déjà le stockage onshore - Réduction du besoin global en infrastructures</p>
B	Sans onshore 2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interdit l'utilisation de stockages onshore dans l'infrastructure</li> <li>Mise en avant de terminaux complémentaires nécessaires et des infrastructures communes avec la sensibilité A</li> </ul>	<p>Important développement de l'export (notamment depuis la face Atlantique Sud-Ouest) – Schéma global relativement stable (ex.: équivalence entre stockage à Lacq et exports depuis la zone)</p>
C	Initial 2030	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimisation du schéma d'infrastructure à 2030 sans prise en compte des objectifs 2050</li> <li>Mise en avant des infrastructures prioritaires à court terme et « sans regret » en regard du schéma de long terme</li> </ul>	<p>Besoin d'infrastructure dès 2030 dans les zones de Lacq, vers Dunkerque et vers le Havre (pour l'export), en particulier dans le scénario C</p>
D	Export en méditerranée 2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suppression du plafond d'export en méditerranée vs. scénario de référence (1Mt/an)</li> <li>Analyse des infrastructures communes ou non-indispensables vs. référence</li> </ul>	<p>Export massif vers la méditerranée - Logistiques Nord/Sud quasiment séparées</p>
E	Valorisation 2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de moitié des objectifs de valorisation</li> <li>Mise en avant des infrastructures / hubs communs avec le scénario de référence, qui constituent des choix sans regret</li> </ul>	<p>Conversion du hub du havre en hub d'export - Peu d'influence sur le schéma d'infrastructure</p>
F	Inter-connexions 2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simulation d'échanges transfrontaliers vers l'Allemagne et la Belgique et depuis l'Espagne</li> <li>Etudier les besoins en infrastructures permettant une logistique européenne</li> </ul>	<p>Léger allègement au Nord-Est grâce à la connexion vers l'Allemagne, transfert des volumes du Sud-Ouest vers Bordeaux - Peu d'influence sur les schémas d'infrastructures</p>
G	Inter-Connexions + exports Med. 2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simulation d'échanges transfrontaliers vers l'Allemagne et la Belgique et depuis l'Espagne et levée de la contrainte sur les exports en Méditerranée</li> </ul>	<p>Occupation de Lacq avec les volumes du Sud-Ouest et de l'Espagne, création d'un axe Rhône vers Fos            ► Schémas logistiques indépendants entre le Nord, le Sud-Est et le Sud-Ouest</p>