



**MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

# La décarbonation et la réduction des émissions atmosphériques polluantes des transports aériens, maritimes et fluviaux

## Article 81 de la loi d'orientation des mobilités

Rapport n° 013277-01

établi par

**Dominique AUVERLOT, Geoffroy CAUDE (coordonnateur) et Thierry LEMPEREUR,**  
Ingénieurs généraux des ponts, des eaux et des forêts

Février 2021



**CGEDD**

CONSEIL GÉNÉRAL DE  
L'ENVIRONNEMENT ET DU  
DÉVELOPPEMENT DURABLE

PUBLIÉ

**Les auteurs attestent qu'aucun des éléments de leurs activités passées ou présentes n'a affecté leur impartialité dans la rédaction de ce rapport**

<b>Statut de communication</b>	
<input type="checkbox"/>	<b>Préparatoire à une décision administrative</b>
<input type="checkbox"/>	<b>Non communicable</b>
<input type="checkbox"/>	<b>Communicable (données confidentielles occultées)</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Communicable</b>

# Sommaire

<b>Sommaire</b> .....	<b>3</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>5</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>9</b>
<b>1 La stratégie française de décarbonation du secteur aérien</b> .....	<b>10</b>
1.1 Les évolutions attendues du trafic aérien .....	10
1.2 Les déterminants de la stratégie française de réduction des effets du secteur aérien sur le climat .....	12
1.3 La stratégie française de décarbonation du secteur aérien .....	15
1.4 Evaluation et transparence .....	29
1.5 Conclusion.....	29
<b>2 La stratégie de décarbonation du secteur du transport maritime</b> .....	<b>31</b>
2.1 Quelques principes généraux de décarbonation du transport maritime .....	32
2.2 Les engagements de l'OMI et les propositions françaises au sein de l'OMI .....	42
2.3 Les engagements de l'UE et la position française au sein de l'Union européenne.....	46
2.4 Les engagements nationaux.....	49
<b>3 La stratégie de décarbonation des ports, de la pêche et de la plaisance</b> .....	<b>55</b>
3.1 Les services portuaires et les ports .....	55
3.2 La pêche .....	63
3.3 La plaisance .....	68
<b>4 La stratégie de décarbonation du secteur fluvial</b> .....	<b>74</b>
4.1 Rétrospective des émissions du secteur fluvial de 1990 à 2018 .....	74
4.2 Les enjeux des transports fluviaux en France .....	75
4.3 Le transport fluvial et la stratégie nationale bas-carbone.....	78
4.4 Les chemins de la décarbonation et de la réduction des émissions atmosphériques du transport fluvial.....	79
4.5 Les initiatives déjà prises ou en cours pour engager la transition énergétique et la	

décarbonation progressive du secteur fluvial .....	85
4.6 Une proposition de stratégie de décarbonation du secteur fluvial.....	93
<b>5 Synthèse et conclusions .....</b>	<b>97</b>
5.1 Le transport aérien.....	97
5.2 Le transport maritime.....	99
5.3 Les ports .....	101
5.4 La pêche .....	102
5.5 La plaisance .....	103
5.6 Le transport fluvial.....	103
5.7 La gouvernance de la transition vers la décarbonation et la réduction des émissions atmosphériques des secteurs maritimes et fluviaux .....	104
<b>Annexes.....</b>	<b>106</b>
<b>1 Lettre de mission.....</b>	<b>108</b>
<b>2 Liste des personnes rencontrées ou consultées .....</b>	<b>110</b>
<b>3 L'état des lieux des émissions de gaz à effet de serre et des polluants atmosphériques des secteurs aérien et maritime .....</b>	<b>116</b>
<b>4 Le défi des secteurs aérien et maritime confrontés à une augmentation régulière de leurs trafics et à la neutralité carbone .....</b>	<b>146</b>
<b>5 Les systèmes de propulsion du transport maritime neutres en carbone.....</b>	<b>168</b>
<b>6 Les signaux économiques nécessaires à la décarbonation du transport maritime.....</b>	<b>176</b>
<b>7 Une analyse du rapport de 2018 du forum international des transports sur la décarbonation du transport maritime d'ici 2035 .....</b>	<b>180</b>
<b>8 Glossaire des sigles et acronymes.....</b>	<b>185</b>

# Résumé

Issu du débat parlementaire relatif à l'utilisation des biocarburants dans le secteur aérien, l'article 81 de la LOM demande au Gouvernement de produire un rapport au Parlement sur la décarbonation des secteurs aérien et maritime.

## I- Caractérisation des émissions de GES

La mission s'est attachée dans un premier temps à caractériser les émissions de GES et de polluants atmosphériques de ces secteurs d'activité ce qui l'a conduit à prendre en compte, conformément à la comptabilisation des émissions effectuées dans le cadre de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), les consommations de carburants distribués en France dans le format dit du protocole de Kyoto<sup>1</sup>. Elle s'est intéressée également aux émissions des services d'escale aux avions et aux navires dans les aéroports et les ports, ainsi qu'à la pêche, à la plaisance et au secteur fluvial.

En bref, on retiendra<sup>2</sup> pour le secteur aérien que les émissions de CO<sub>2</sub>e pour le trafic domestique ont augmenté de 4,5 Mt en 1990 à 5,0 Mt en 2017; de même, pour le secteur maritime, les émissions de la plaisance auraient augmenté de 0,67 à 1,07 Mt, tandis que les émissions du transport maritime domestique ont baissé de 0,25 Mt en 1990 à 0,14 Mt en 2017, celles du transport fluvial de 0,13 Mt à 0,10 Mt et celles de la pêche de 1,46 à 1,02 Mt. Si elles ne figurent pas au format du protocole de Kyoto, les émissions des transports aériens et maritimes internationaux sont très supérieures aux émissions des trajets domestiques et sont passées de 8,5 Mt à 17,4 Mt<sup>3</sup> de 1990 à 2017 pour le transport aérien, de 8,03 Mt à 5,64 Mt pour le transport maritime sur la même période de temps. Pour le secteur fluvial, les émissions des trajets internationaux sont à peu près équivalentes à celles des trajets domestiques : elles ont décliné de 0,09 Mt à 0,07 Mt entre 1990 et 2017.

De plus la mission estime que des travaux complémentaires devront être menés pour améliorer la connaissance et préciser les stratégies de réduction des effets sur le climat des traînées de sillage et des cirrus induits des avions en haute altitude, car ces derniers entraînent un supplément d'effet de serre<sup>4</sup>.

## II- Comment réduire les émissions de GES de ces secteurs à l'horizon 2050

Dans un second temps la mission s'est interrogée sur les évolutions technologiques nécessaires pour décarboner ces secteurs et sur les leviers pour y parvenir. L'urgence climatique, retranscrite dans la SNBC, conduit notre pays à se diriger, le plus rapidement possible, vers des systèmes énergétiques et vers des moyens de transport neutres en carbone dans le respect des conditions d'équité, de justice sociale et sans obérer la soutenabilité économique des mesures envisagées. La transition dans l'aérien et le maritime est plus difficile que dans le reste du secteur des transports. Il n'existe pas en effet aujourd'hui de solution technologique universelle qui permette d'assurer la neutralité carbone du maritime sur longue distance et de l'aviation : les solutions seront à adapter selon les différents segments. Cependant, la décarbonation de ces deux secteurs repose principalement sur trois piliers : l'amélioration à la conception, la réduction des émissions en exploitation et la mise au point de

---

<sup>1</sup> Celui-ci englobe le territoire métropolitain, la Guyane, la Guadeloupe, la Martinique, la Réunion et Mayotte. Conformément à la CCNUCC, ce format ne retient pas les émissions de l'aérien et du maritime international.

<sup>2</sup> Les émissions globales de GES exprimées en CO<sub>2</sub>e en France pour 2017 dans le format dit du protocole de Kyoto sont estimées par le Citepa à 464,6 Mt.

<sup>3</sup> Ces émissions internationales représentent pour le transport aérien 3,6 % des émissions globales de CO<sub>2</sub>e recensées en France au format du protocole de Kyoto pour 2017, pour le transport maritime 1,18 % et 0,02 % pour le transport fluvial.

<sup>4</sup> Le lecteur intéressé trouvera des éléments sur la quantification du forçage radiatif correspondant dans l'annexe 4-paragraphe 4-3-2-3

carburants et de motorisations neutres en carbone.

Le secteur du transport aérien est depuis longtemps engagé dans un processus de réduction de ses émissions de GES, car le prix du carburant pèse fortement dans le prix du billet d'avion. La construction aéronautique n'a eu de cesse de rechercher l'économie en carburant comme argument de vente de son aviation commerciale. Cette politique se couplait parfaitement avec les exigences de réduction d'émissions. Cependant, la croissance économique du secteur conduit à faire le constat que le renouvellement des flottes, en raison du cycle de vie des avions, et les gains dus à la technologie ne permettent pas de penser qu'il est possible de diviser par deux entre 2005 et 2050 l'empreinte carbone de l'aviation sans adopter des mesures fortes, en rupture avec le passé.

La réponse aux enjeux environnementaux du secteur de l'aviation n'est ni simple, ni unique. Le développement d'une aviation ultra sobre, l'optimisation des trajectoires de vol, le déploiement des biocarburants durables sont nécessaires et constituent les seules solutions à moyen-terme pour l'aviation long courrier. Cependant, les ressources de biocarburants durables risquent d'être probablement insuffisantes pour répondre à la demande nationale comme mondiale. Le carburant de substitution vers lequel l'aviation européenne pourrait converger est l'hydrogène. Ce carburant nécessite des ruptures technologiques qui ne sont pas encore suffisamment maîtrisées. Il donne lieu à l'engagement de programmes de R&D significatifs. Tant que les solutions industrielles de décarbonation ne sont pas identifiées, il y a lieu d'agir avec une grande prudence dans l'évolution des taxes relatives au secteur aérien qui ne seraient pas adoptées au niveau international : au-delà de l'évolution du signal prix carbone, les principales incitations tarifaires décidées par la puissance publique doivent correspondre à l'incorporation progressive des biocarburants qui se traduira par un renchérissement du prix du billet d'avion.

Le secteur du transport maritime est engagé dans un processus de réduction de ses émissions de GES et des autres polluants atmosphériques tant au niveau international avec l'OMI qu'européen et national.

Au niveau international de l'OMI, même si l'accord auquel est parvenu le MEPC 75 en novembre 2020 apparaît insuffisant pour s'assurer que les objectifs de réduction de 50 % des émissions internationales du secteur en 2050 par rapport à 2008 seront respectés, le fait de pouvoir utiliser l'obligation de rapportage annuel instaurée depuis 2019 (MRV) offrira la possibilité à la France de plaider au sein de l'OMI la mise en place de mesures supplémentaires pour recalibrer les trajectoires de décarbonation, si les deux mesures retenues d'efficacité énergétique et d'intensité des émissions de carbone par navire, l'EEXI et CII<sup>5</sup>, ne permettent pas aux émissions de respecter les trajectoires de réduction envisagées.

Au niveau européen, l'activité de la nouvelle Commission européenne est particulièrement intense, notamment avec le Pacte vert du 11 décembre 2019 et avec la publication du 9 décembre 2020 sur la stratégie de mobilité durable et intelligente. Les trois sujets majeurs pour le transport maritime sont :

- l'utilisation du système MRV cohérente avec celle mise en place aussi à l'OMI ;
- la mise à l'étude de l'application du système d'échange des quotas d'émission (SEQUE) aux émissions internationales du transport maritime qui peut difficilement se concevoir sans un mécanisme complexe de taxation du carbone aux frontières et où les armateurs français et européens appellent à la plus grande vigilance par rapport à la concurrence des autres armateurs et au risque de report de trafics vers les hubs portuaires extra-européens britanniques, turcs ou marocains ;
- les outils de financement de la décarbonation pour la période 2021-2027 ce qui requiert une action collective pour veiller aux enjeux industriels, notamment dans le programme de Recherche et Développement (R et D) Horizon Europe 2021/2027, et vis-à-vis des carburants alternatifs.

Le secteur du transport fluvial enfin bénéficie d'un atout indéniable au plan européen avec l'expérience

---

<sup>5</sup> L'EEXI correspond à l'Efficacité énergétique des navires et le CII à l'indicateur annuel d'intensité carbonique (CII).

rhénane de la CCNR ; il a déjà largement travaillé sur les questions d'évolution de ses motorisations qui se heurtent souvent à un contexte économique peu favorable à des évolutions rapides.

### **III- Stratégie de réduction proposée ou envisagée**

Enfin la mission s'est efforcée de décrire la stratégie nationale retenue par le Gouvernement pour le secteur aérien et d'esquisser une possible stratégie pour les autres secteurs d'activité.

**Pour le transport aérien**, la stratégie peut être déclinée en sept axes :

- favoriser l'adoption d'un objectif mondial ambitieux de réduction des émissions de carbone de l'aérien à l'horizon 2050 ;
- travailler à la complémentarité des modes de transports, chacun sur son domaine de pertinence ;
- favoriser l'apparition d'aéronefs ultra sobres dans le cadre du plan de soutien à la filière aéronautique ;
- accélérer et optimiser le renouvellement de la flotte dans le cadre du plan de soutien à la filière aéronautique ;
- favoriser une meilleure gestion de l'espace aérien et du trafic aérien commercial, permettant d'optimiser les trajectoires ;
- réduire les émissions de l'aviation au sol et encourager la démarche volontaire de réduction des émissions de gaz à effet de serre des aéroports ;
- mettre au point et déployer les carburants neutres de demain et les motorisations adaptées.

**Pour le transport maritime**, quatre orientations stratégiques se dégagent :

- en l'absence de solution technologique unique, favoriser l'expérimentation des techniques permettant une propulsion neutre en carbone des navires ;
- accélérer la dynamique d'adaptation de la flotte ;
- mettre en place les outils propres à inciter, à financer ou à accélérer ces évolutions ;
- fixer au niveau de l'OMI des objectifs de réduction des autres émissions atmosphériques polluantes.

**Pour les ports**, sept actions concrètes prioritaires pourraient être menées :

- constituer une plateforme d'échange d'expériences en lien étroit avec la coalition T2EM montée par le Cluster maritime français ;
- harmoniser les périmètres de rapportage des émissions de GES des ports et étendre ce rapportage progressivement aussi aux émissions de polluants atmosphériques ;
- initier un inventaire régulier des émissions de GES et de polluants atmosphériques des navires et des services aux navires dans les approches portuaires et au port ;
- concrétiser la réflexion plus large à engager sur le modèle économique des électrifications à quai et de l'utilisation de sources d'énergies décarbonées ;
- favoriser les opérations de distribution de GNL et de carburants alternatifs dans les ports ;
- veiller à inscrire les stratégies portuaires en cohérence avec les stratégies nationales et régionales de transition énergétique et de décarbonation, ce qui passe par la mise au point d'une feuille de

route de l'ensemble du système portuaire ;

- stimuler et structurer les efforts de recherche et développement en consacrant à ce sujet un des volets des journées annuelles des « ports du futur » ;
- renforcer les actions engagées avec le plan de relance en faveur du ferroviaire et du fluvial ;
- poursuivre les efforts de stimulation du transport maritime à courte distance (*short sea*).

**Pour les secteurs de la plaisance et de la pêche**, des travaux préparatoires restent à entreprendre avec les parties-prenantes concernées et le Citepa pour mieux caractériser les émissions et les efforts de réduction des GES à opérer.

**Pour le fluvial**, le point de départ pourrait être donné par la feuille de route demandée à la CCNR par les cinq États-membres lors de la déclaration de Mannheim adoptée en 2018 qui fixe deux horizons de temps : une réduction des GES et des émissions polluantes de 35 % en 2035 et une réduction quasi-totale en 2050. La déclinaison française de cette décarbonation devrait déboucher d'ici fin 2021 sur une stratégie complète de verdissement de la flotte fluviale française compatible avec la feuille de route de la CCNR, qui devra être accompagnée par un déploiement de bornes électriques à quai et par des dispositifs de distribution des carburants alternatifs décarbonés couplés avec ceux des autres modes de transport terrestres, tant sur les itinéraires fluviaux que sur les ports fluviaux proprement dits.

\*

\*       \*

Le secteur aérien bénéficie déjà de plusieurs feuilles de route et de dispositifs de suivi. Dans un esprit similaire, les stratégies de réduction des gaz à effet de serre et des polluants atmosphériques des secteurs maritimes et fluvial pourraient bénéficier de la mise en place d'un dispositif de pilotage et de suivi *ad hoc*.

## Introduction

Le présent rapport répond à la demande exprimée par le Parlement au Gouvernement au titre de l'article 81 de la loi n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités (LOM). En effet au cours de la séance du débat parlementaire qui s'est déroulée au Sénat le 26 février 2019, un amendement, qui visait à mettre au point un programme de soutien public aux filières françaises de production de biocarburants aéronautiques, a été débattu, ce qui a conduit le Gouvernement à élargir la perspective à la décarbonation du secteur aérien ainsi qu'à celle du secteur maritime, les biocarburants étant une des pistes majeures à explorer, pour aboutir à la rédaction suivante reprise par l'article 81 de la loi: « *Dans un délai de six mois à compter de la promulgation de la présente loi, le Gouvernement remet au Parlement un rapport sur la décarbonation et la réduction des émissions polluantes dans les secteurs du transport aérien et du transport maritime. Il dresse le bilan des actions engagées et présente la stratégie retenue.* »

La lettre de mission adressée le 17 février 2020 à la Vice-présidente du CGEDD (cf. annexe 1) a donc demandé que le rapport :

- présente une synthèse des connaissances scientifiques en matière d'impacts climatiques et d'émissions atmosphériques des secteurs aériens et maritimes ;
- dresse le bilan des actions déjà engagées au regard des objectifs actuels et présente, pour chaque secteur, les politiques publiques existantes, le contexte économique et réglementaire ainsi que les technologies nécessaires à leur décarbonation et à la réduction des émissions en distinguant les existantes ainsi que les étapes de maturité future des autres technologies ;
- identifie, le cas échéant, les objectifs complémentaires qui seraient nécessaires et les conditions de leur mise en œuvre, en particulier pour les navires, qui n'entrent pas dans le champ des négociations en cours à l'OMI;
- et sur la base de ce bilan, propose une stratégie combinant les deux problématiques de décarbonation et de pollution atmosphérique, cette stratégie étant à établir en tenant compte de la soutenabilité des mesures proposées et en associant les acteurs économiques.

La mission du CGEDD qui s'est mise en place au début du mois de mars a tenu compte du canevas de rapport établi par la DGAC pour le transport aérien et par la DAM pour le transport maritime. Elle est convenue avec ces directions que la notion de secteur des transports aérien et maritime concernait à la fois les transports aérien et maritime eux-mêmes et les services d'escale réalisés dans les aéroports ou dans les ports. Elle a répondu favorablement aux demandes de la DAM d'étendre la réflexion à la pêche et à la plaisance et à celle du secteur fluvial d'étendre le champ du rapport à ce secteur fortement connecté au secteur maritime. Elle s'est aussi adaptée au contexte particulier issu de la pandémie en procédant à un grand nombre d'entretiens (cf. annexe 2).

Compte tenu de la complexité du sujet qui portait aussi bien sur les émissions avec une large composante scientifique du sujet et de la disparité des solutions entre les secteurs aérien et maritime ou fluvial, le corps du rapport consiste en quatre chapitres traitant des stratégies respectives de décarbonation et de réduction des émissions atmosphériques polluantes du transport aérien (chapitre 1), du transport maritime (chapitre 2), des ports, de la pêche et de la plaisance (chapitre 3), du transport fluvial (chapitre 4), tandis que le chapitre 5 reprend en les synthétisant les principales recommandations formulées. Des annexes plus développées traitent des émissions proprement dites (annexe 3), et des défis qui se posent pour fonder les stratégies envisagées tant pour le secteur aérien que pour le secteur maritime (annexe 4), les annexes 5 à 7 étant dédiées au chapitre 2 sur le maritime.

# 1 La stratégie française de décarbonation du secteur aérien

La décarbonation de l'aérien a été fortement favorisée par les progrès technologiques du secteur : ainsi si entre 2000 et 2017, le nombre de passagers équivalents kilomètres transportés a augmenté de 54 %, la croissance des émissions de CO<sub>2</sub> du transport aérien (domestique et international) en France a été limitée à 14 %, ce qui correspond à une diminution de 26 % des émissions unitaires (en kg de CO<sub>2</sub> par passager équivalents-km-transporté) et à une décroissance moyenne de 1,7 % par an<sup>6</sup>. Aujourd'hui, la consommation par passager d'un Airbus A321 Neo sur un trajet long courrier est proche de deux litres de carburant pour cent kilomètres, ce qui représente une consommation moindre qu'un automobiliste, seul dans son véhicule à moteur thermique, parcourant la même distance.

Néanmoins, les émissions de l'aérien domestique et international français ont augmenté en valeur absolue de 72 %, de 1990 à 2017. Cette augmentation est à pondérer par le poids des émissions de l'aérien domestique qui représente environ 1,1 % des émissions de gaz à effet de serre de la France, et 4,6 % lorsqu'on prend en compte les émissions internationales de ce secteur. La communauté scientifique évalue également la contribution de l'aérien en termes de forçage radiatif, unité de mesure qui correspond au supplément d'énergie apporté à un instant donné au système terrestre et qui prend ainsi en compte les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur aérien qui s'accumulent dans l'atmosphère (effet de stock), mais aussi les émissions de vapeur d'eau (effet de flux) et de NO<sub>x</sub>. En dépit des incertitudes associées à sa mesure, le forçage radiatif des émissions de vapeur d'eau et des traînées de sillage (*contrails*) associées, dont la durée de vie moyenne dans l'atmosphère n'est que de quelques dizaines de minutes est considéré aujourd'hui comme supérieure à celui du carbone émis par l'aérien et accumulé dans l'atmosphère depuis 1940.

La stratégie présentée qui suit s'attache donc à limiter les effets du secteur aérien sur le climat tout en favorisant l'approfondissement des connaissances scientifiques relatives à ces effets.

## 1.1 Les évolutions attendues du trafic aérien

Depuis plusieurs dizaines d'années, le trafic aérien mondial a connu une croissance forte, avec un doublement du trafic, en passagers équivalents kilomètres transportés, tous les quinze ans, à peine perturbée par les différentes crises économiques successives comme le montre la courbe ci-dessous :

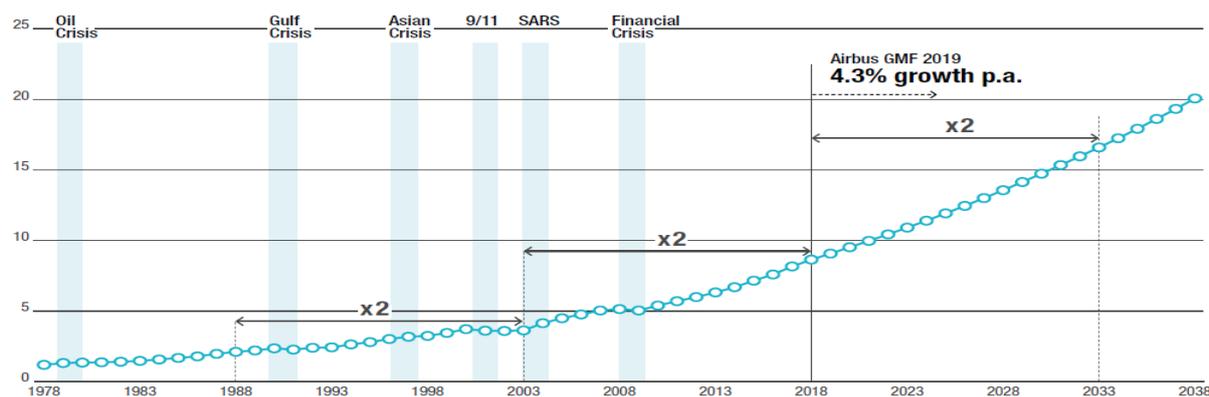


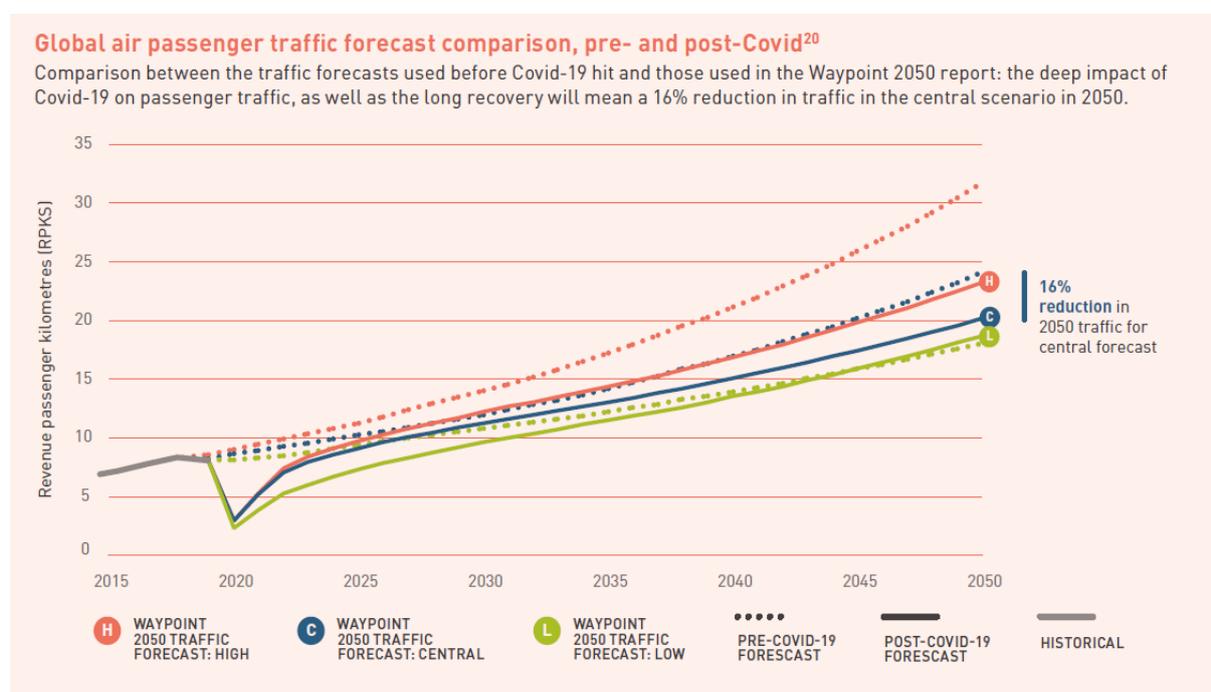
Figure 1 : Prévisions de 2019 d'Airbus pour le trafic annuel aérien mondial sur la période 2019-2038<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Source DGAC : [https://www.acnusa.fr/uploads/media/default/0001/02/1269\\_emissionsgazeuses-2017.pdf](https://www.acnusa.fr/uploads/media/default/0001/02/1269_emissionsgazeuses-2017.pdf)

<sup>7</sup> Source : Airbus, *Global market forecast 2019-2038*, <https://www.airbus.com/aircraft/market/global-market-forecast.html>

Avec la pandémie de la COVID-19, le secteur aérien est cependant confronté à une crise d'une ampleur sans précédent : le trafic aérien mondial, en passagers kilomètres, a été réduit de près de 94 % d'avril 2019 à avril 2020, et le nombre de passagers a quasiment été divisé par deux d'une année sur l'autre<sup>8</sup>.

Néanmoins, ainsi que l'envisage l'*Air Transport action group*, plus communément appelé ATAG<sup>9</sup>, qui réunit, dans une coalition indépendante, les constructeurs, les compagnies aériennes, les aéroports et les services de navigation aérienne, tout laisse à penser qu'à l'issue de la crise sanitaire actuelle et d'une diffusion suffisante des vaccins, le trafic aérien reprendra son évolution à la hausse. Même si des incertitudes demeurent sur l'intensité de la reprise économique – comme le soulignent notamment les dernières prévisions économiques de l'OCDE<sup>10</sup> –, sur la date à laquelle le trafic retrouvera sa valeur de 2019 (date qui, dans les estimations actuelles, correspondrait à 2025 ou 2026), sur l'évolution du comportement des passagers et sur le *gap* de croissance qui pourrait subsister à terme entre les anciennes prévisions et le trafic qui sera réellement observé, la courbe bleue, en racine carrée, extraite du dernier rapport de l'ATAG sur les perspectives 2050 de l'aviation mondiale correspond à l'évolution tendancielle la plus probable du trafic aérien dans les années futures. Elle montre à la fois la reprise prévisible de la croissance et la persistance, y compris à long terme, d'un déficit de croissance modéré, résultant de la crise sanitaire qui sur ce graphique (figure 2) serait de l'ordre de 16 % en 2050.



**Figure 2 :** Comparaison des prévisions du trafic aérien mondial avant et après la crise de la COVID-19<sup>11</sup>

<sup>8</sup> Waypoint 2050, ATAG, [https://aviationbenefits.org/media/167187/w2050\\_full.pdf](https://aviationbenefits.org/media/167187/w2050_full.pdf)

<sup>9</sup> Ibidem

<sup>10</sup> [https://www.oecd-ilibrary.org/economics/perspectives-economiques-de-l-ocde/volume-2020/issue-1\\_773ea84a-fr](https://www.oecd-ilibrary.org/economics/perspectives-economiques-de-l-ocde/volume-2020/issue-1_773ea84a-fr)

<sup>11</sup> Source : Waypoint 2050, ATAG, [https://aviationbenefits.org/media/167187/w2050\\_full.pdf](https://aviationbenefits.org/media/167187/w2050_full.pdf)

## 1.2 Les déterminants de la stratégie française de réduction des effets du secteur aérien sur le climat

Cette stratégie s'inscrit dans le cadre de l'accord de Paris et l'atteinte de la neutralité carbone à terme :

- Même si la quasi-totalité des membres de l'OACI ont ratifié l'Accord de Paris<sup>12</sup> qui prévoit d'atteindre la neutralité carbone au cours de la deuxième moitié de ce siècle, et si l'ATAG a publié en septembre 2020 un rapport<sup>13</sup> conduisant à une réduction de 50 % des émissions de l'aérien à 2050 en envisageant la neutralité carbone vers 2060-2065, l'OACI et ses États membres n'ont pas encore adopté d'objectif de réduction des émissions de GES du secteur aérien à 2050 ;
- l'OACI et ses États membres ont, pour le moment, identifié un panier de mesures (progrès technologiques, optimisations opérationnelles, carburants aéronautiques durables et mesures de marché) permettant de limiter l'impact du secteur sur le climat. Un objectif de croissance neutre en carbone à partir de 2021 a été adopté et le CORSIA, (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*), mécanisme mondial de compensation carbone, a été défini par l'OACI en octobre 2016 comme moyen transitoire permettant d'atteindre cet objectif en plus des autres leviers<sup>14</sup>. Par ailleurs, depuis 2009, le secteur aéronautique, à travers l'IATA (*International Air Transport Association*), s'est engagé à ne plus augmenter ses émissions à partir de 2020 et à les réduire de 50 % d'ici 2050 (par rapport à 2005) ;
- Le secteur aérien est également à l'origine d'un supplément de forçage radiatif provenant des émissions de vapeur d'eau en altitude au travers de l'apparition de traînées de condensation et des cirrus supplémentaires qu'elles induisent. Conformément au principe de précaution, cet effet doit être réduit dans toute la mesure du possible tout en donnant lieu à des travaux de recherche complémentaire permettant d'en préciser l'ampleur ;
- Les aéroports français sont engagés dans une action de réduction de leurs émissions, notamment par le biais d'une démarche européenne d'accréditation carbone qui les incite graduellement à aller plus loin dans la décarbonation des émissions de l'aviation au sol et à communiquer leurs données environnementales en toute transparence.

En l'absence d'une technologie éprouvée permettant d'atteindre à coup sûr la neutralité carbone, la stratégie consiste à explorer les différentes pistes possibles de solutions.

S'il est crédible d'ici 2040, en étant certes optimiste, d'envisager des vols commerciaux tout électrique avec un nombre réduit de passagers sur quelques centaines de kilomètres ainsi que des avions court ou moyen-courrier à hydrogène liquide, probablement à l'état de prototypes, les connaissances actuelles ne permettent pas d'espérer à cet horizon des avions long-courriers reposant entièrement sur l'électricité ou l'hydrogène liquide : le poids des batteries, actuelles et à moyen-terme, serait trop important et le volume d'hydrogène nécessaire à un vol long-courrier, même sous forme liquide, serait supérieur à la capacité d'emport d'un Boeing 747<sup>15</sup>.

La neutralité carbone de l'aviation de demain passe inévitablement par la recherche de l'hyper sobriété

---

<sup>12</sup> L'Accord de Paris n'a pas été ratifié notamment par l'Érythrée, l'Irak, l'Iran, la Lybie, le Soudan du sud et la Turquie, le Yémen. Les États-Unis, qui en sont sortis fin 2020, y sont rentrés début 2021.

<sup>13</sup> WAYPOINT 2050, ATAG, [https://aviationbenefits.org/media/167187/w2050\\_full.pdf](https://aviationbenefits.org/media/167187/w2050_full.pdf)

<sup>14</sup> Voir notamment <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/FR/ICAO-Assembly-achieves-historic-consensus-on-sustainable-future-for-global-civil-aviation.aspx> et [https://www.icao.int/Meetings/a39/Documents/Action\\_Sheets/action\\_07\\_fr.pdf](https://www.icao.int/Meetings/a39/Documents/Action_Sheets/action_07_fr.pdf), [https://www.icao.int/Meetings/a39/Documents/WP/wp\\_530\\_fr.pdf](https://www.icao.int/Meetings/a39/Documents/WP/wp_530_fr.pdf)

<sup>15</sup> *Mission Possible: Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century : sectoral focus Aviation*, Energy Transitions Commission, Nov 2018, [https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2020/08/ETC-sectoral-focus-Aviation\\_final.pdf](https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2020/08/ETC-sectoral-focus-Aviation_final.pdf)

des propulseurs et par des innovations en rupture avec la technologie actuelle. **Il est de plus probable que l'avion du futur fera appel à des technologies ou à des combinaisons de technologies différentes selon les différents segments d'exploitation.** Cela conduit à explorer de manière systématique et parallèle de nouvelles voies en substitution du kérosène fossile, alors que la recherche s'attachait surtout à optimiser les systèmes existants. Cela induit une double priorité :

- d'une part, mener des recherches à long terme, financées en partie par la puissance publique et par l'Union européenne, pour favoriser la mise au point accélérée de solutions technologiques permettant le développement d'une aviation neutre en carbone compatible avec le haut niveau de fiabilité et de sécurité exigé pour le transport aérien ;
- d'autre part, faire les meilleurs efforts possibles pendant la période transitoire nécessaire vers la neutralité carbone pour réduire les émissions de gaz à effet de serre correspondantes, en accompagnant ces efforts par des incitations économiques se référant au coût général de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée.

En outre, le report modal de l'aérien vers des modes de transport moins émetteurs et, si possible, neutres en carbone doit être étudié. Il convient que ce report se fasse sur les parcours qui le permettent, sans remettre en question la libre concurrence entre les modes de transport et sans condamner le hub parisien, indispensable au rayonnement de la France et au tourisme international. Le prix du carbone pourrait être dans ce contexte un paramètre d'ajustement dans les tarifs pratiqués par les différents modes de déplacement intérieurs.

### **1.2.1 Cette stratégie présente de sérieuses contraintes**

Abstraction faite du report modal, la réduction des émissions repose sur trois axes complémentaires : 1) la mise au point d'avions ultra sobres (consommant de moins en moins de carburant) ; 2) l'amélioration de la gestion du ciel aérien et la réduction des émissions des avions au sol ; 3) l'utilisation de plus en plus importante de carburants neutres en carbone.

#### *1.2.1.1 La mise au point d'avions ultra-sobres*

Chaque génération d'avion apporte des améliorations en matière de consommation. La génération des Airbus propulsés par des moteurs Neo ou celle des derniers Boeing en est au début de sa commercialisation. Les constructeurs attendent donc un retour de leurs investissements par la vente de leurs derniers nés. Le cycle de vie d'un avion étant de l'ordre de 25 ans, les avions ultra sobres qui se veulent sauter une génération en termes de gain de consommation de carburant, ne remplaceront les avions au catalogue des constructeurs que si ces derniers sont amortis ou si la réduction de consommation est suffisante pour déclencher un tel choix, ce qui est l'objectif de la R&D actuelle.

#### *1.2.1.2 L'amélioration de la gestion des vols au sol et en l'air*

Comme pour la construction aéronautique, la crise de la COVID-19 affecte à la fois les prestataires de navigation aérienne et les exploitants d'aéroport. Les pertes financières dues aux redevances en route et d'approche non encaissées par la direction des services de la navigation aérienne, la DSNA, ne vont favoriser ni le renouvellement des équipements de navigation aérienne ni leur date d'entrée en fonction alors qu'ils sont un des maillons de l'amélioration opérationnelle visant à optimiser les trajectoires. Il en va de même des aéroports qui, aujourd'hui, entendent les constructeurs aéronautiques leur dire que de nouvelles générations d'avions sont prévues : certaines des configurations d'avion envisagées nécessiteraient des infrastructures complexes à mettre en œuvre, en particulier pour l'avion à hydrogène liquide. Ces infrastructures devront être précisées au fur et à mesure du développement d'un tel avion.

#### *1.2.1.3 Des carburants neutres en carbone*

L'avion du futur, quel qu'il soit aura besoin d'une énergie pour se déplacer. Les contraintes sont dans ce domaine nombreuses, considérant que seuls des carburants dits « décarbonés » pourront permettre d'aller vers une aviation véritablement neutre en carbone.

- En l'état actuel des connaissances, l'aéronef tout électrique (à batteries) a un potentiel de développement dans l'aviation générale (vols locaux de formation dans les aéroclubs) et, au cours de la prochaine décennie, dans le segment des VTOL (*Vertical Take-off and Landing*)/drones taxis ainsi que dans le segment des *commuters*. Cependant son domaine d'utilisation est limité par la densité énergétique massique des batteries, la gestion des courants forts, la mise au points de moteurs électriques de plusieurs MWe (énergie nécessaire au décollage d'avions d'une certaine taille). L'avenir des VTOL/drones taxis aériens dépendra essentiellement de la capacité d'instaurer dans les zones urbanisées des couloirs aériens assurant la sécurité des biens et des personnes survolés, un niveau de sécurité des VTOL équivalent à celui de l'aviation commerciale et une réglementation spécifique innovante.
- L'utilisation de l'hydrogène est quant à elle subordonnée à la mise au point de PAC (piles à combustible) de forte puissance et de longue durée de vie<sup>16</sup> et de technologies de stockage et de distribution permettant l'emport à bord en toute sécurité d'une quantité importante d'hydrogène cryogénique et son acheminement jusqu'à la chambre de combustion. Sa gestion sous forme liquide (- 253°C) nécessite de maîtriser la phase de remplissage du réservoir sur un aéroport et son transfert depuis le réservoir jusqu'à son entrée dans la PAC ou dans le réacteur. Il s'agit également de qualifier les dispositifs d'évacuation de la chaleur dégagée par la ou les PAC, de concevoir des matériaux légers et résistants compte tenu du caractère particulièrement corrosif de l'hydrogène<sup>17</sup> (réservoirs, tuyaux, vannes, pompes, ...) et de quantifier l'impact de ce carburant sur l'environnement (dégagement accru de vapeur d'eau). L'hydrogène suppose également le déploiement d'infrastructures pour sa production, sa liquéfaction et sa distribution jusqu'à l'aéronef dans l'ensemble des pays desservis.
- Si les biocarburants durables sont une très bonne solution à même de se substituer aux carburants fossiles et de réduire fortement les émissions de gaz à effet de serre sans fondamentalement modifier la technologie des avions actuels, leur gisement semble limité. La priorité actuelle consiste à développer en France des procédés de fabrication des carburants de « deuxième génération » (sans concurrence avec les cultures alimentaires) ou biocarburants avancés.

Les biocarburants et la réduction de consommation (ultrasobriété) constitueront les solutions principales jusqu'à 2040 – 2050 pour la décarbonation de l'aviation long courrier : ils seront mélangés en plus ou moins grande quantité au carburant fossile (*drop-in*) selon leur disponibilité. Cette utilisation est vouée à durer suffisamment pour rentabiliser la création de filières de carburants durables pour l'aviation.

- Les *e-fuels*, élaborés à partir de molécules de carbone d'origine non fossile et actuellement moins matures que les biocarburants sur les plans technologique et commercial, pourraient se développer dans les années à venir. Ce type de carburant suppose cependant la capture du CO<sub>2</sub> nécessaire en sortie d'installations brûlant de la biomasse ou, de manière plus incertaine, le prélèvement du CO<sub>2</sub> présent dans l'air ainsi que la mise au point d'un modèle économique.
- L'hybridation des sources d'énergie dans l'aéronef pourrait permettre de diminuer les émissions : cette technologie sera probablement la première à se développer, mais elle ne permettra pas d'atteindre la neutralité carbone, que ce soit dans une version hybride kérosène/électricité (l'électricité alimentant par exemple l'APU (*Auxiliary power unit*) et venant en complément de la propulsion thermique classique dans certaines phases du vol) ou dans une version hybride kérosène/hydrogène utilisant des turbopropulseurs entraînés soit

---

<sup>16</sup> Sauf si l'avion est propulsé par des réacteurs à hydrogène et n'utilise pas de PAC.

<sup>17</sup> L'hydrogène fragilise, par diffusion, les alliages, et ceux-ci deviennent ensuite plus sensibles à la corrosion.

par de l'hydrogène, soit par de l'électricité provenant de piles à combustible.

### **1.2.2 Cette stratégie suppose également la mise en œuvre d'un signal-prix carbone qui tienne compte de la situation économique du secteur**

Face à la crise que traverse le secteur aérien, la préservation des emplois et des compétences est une priorité pour conserver la capacité de mise au point des technologies de demain, que ce soient le moteur électrique du futur (Safran), l'avion à hydrogène, les VTOL/taxis volants et les *commuters* électriques ou le *design* des futurs avions (ailes volantes, voilures haute performance ...).

Parallèlement, les externalités provoquées par les émissions de carbone de l'aérien et correspondant à la valeur du dommage imposée à l'environnement doivent être payées à leur juste valeur.

### **1.2.3 Cette stratégie ne pourra porter ses fruits que si elle est poursuivie de manière pérenne dans le temps**

Il s'écoulera au minimum dix à quinze ans entre le financement d'actions de recherche sur l'avion hydrogène et les premières recettes commerciales, ou entre la mise au point d'un nouveau procédé de fabrication de biocarburants avancés et son déploiement à une échelle significative : les financements doivent donc être envisagés sur une longue période de temps.

## **1.3 La stratégie française de décarbonation du secteur aérien**

Depuis 1990, le secteur aérien a réalisé de très grands progrès technologiques : un Airbus A321 Neo consomme ainsi aujourd'hui autour de deux litres de carburant par passager pour cent kilomètres, ce qui représente une consommation moindre que celle d'un automobiliste parcourant, seul dans sa voiture, la même distance avec un véhicule thermique. La décarbonation du secteur aérien suppose cependant d'aller nettement plus loin :

- en favorisant l'adoption d'un objectif mondial ambitieux de réduction des émissions de carbone de l'aérien à l'horizon 2050 ;
- en travaillant à la complémentarité des modes de transports, chacun sur son domaine de pertinence ;
- en favorisant l'apparition d'aéronefs ultra sobres dans le cadre du plan de soutien à la filière aéronautique ;
- en accélérant et en optimisant le renouvellement de la flotte dans le cadre du plan de soutien à la filière aéronautique ;
- en favorisant une meilleure gestion de l'espace aérien et du trafic aérien commercial, permettant d'optimiser les trajectoires ;
- en réduisant les émissions de l'aviation au sol et en encourageant la démarche volontaire de réduction des émissions de gaz à effet de serre des aéroports ;
- en mettant au point et en déployant les carburants neutres de demain et les motorisations adaptées ;
- en mettant en place les signaux économiques nécessaires ;
- et en développant la recherche de long-terme pour chacun de ces *items*.

Cette stratégie, pour être pilotée, doit s'accompagner d'une publication régulière des données environnementales du secteur ainsi que d'une évaluation annuelle des mesures mises en œuvre.

Elle devra probablement être adaptée pour tenir compte des mesures que retiendra l'Union

européenne dans le cadre de la déclinaison au secteur aérien de sa stratégie pour une mobilité durable et intelligente.

### **1.3.1 Favoriser l'adoption d'un objectif mondial ambitieux de réduction des émissions de carbone de l'aérien à l'horizon 2050 et intégrer l'aviation internationale dans les NDC<sup>18</sup> prévues par l'Accord de Paris**

L'adoption d'objectifs de réduction des émissions du secteur aérien a donné lieu par le passé à des incompréhensions entre l'OACI, la CCNUCC (Convention-cadre des Nations-Unies sur le changement climatique) et l'UE. On peut citer les reproches adressés à l'OACI par les ONG, avant la conférence de Copenhague, de ne pas avoir adopté d'objectifs de réduction et la tentative avortée de l'UE d'inclure dans son marché ETS (*Emissions trading system*) les vols internationaux suite au refus de certains pays de s'y soumettre, conduisant à l'abandon par l'UE de cette initiative en attendant de mesures de la part de l'OACI. L'Accord de Paris rend désormais nécessaire la fixation d'objectifs de réduction d'émissions de gaz à effet de serre.

Lors de la 39<sup>ème</sup> assemblée générale de l'OACI tenue en octobre 2016, les 193 pays membres ont adopté un objectif de stabilisation des émissions mondiales du secteur aérien à partir de 2020 ainsi qu'un dispositif mondial de compensation des émissions de l'aviation civile internationale CORSIA (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*) accompagnant sa mise en œuvre. Selon ce dispositif, les compagnies aériennes devront stabiliser leurs émissions à partir d'une année de référence, 2019 en l'occurrence – 2020 ne pouvant plus faire office d'année de référence. À partir de 2021, les émissions de CO<sub>2</sub> dépassant le niveau de celles atteintes en 2019 seront compensées par l'acquisition de crédits carbone dénommés « unités d'émission » sur un marché alimenté par des secteurs d'activité qui réduisent leurs émissions. Jusqu'à la fin de 2026, l'adhésion au mécanisme est basée sur le volontariat (la France ayant bien évidemment confirmé sa participation au dispositif).

La participation à ce mécanisme sera ensuite progressivement rendue obligatoire avec des exceptions (pays en difficulté, au secteur aérien moins mature, etc.). L'OACI souligne que l'aviation civile internationale devient ainsi le premier secteur économique à se doter d'un dispositif mondial, universel et contraignant, de maîtrise de ses émissions de CO<sub>2</sub>. Cet objectif n'est cependant pas suffisant dans la perspective de la neutralité carbone prévue par l'Accord de Paris.

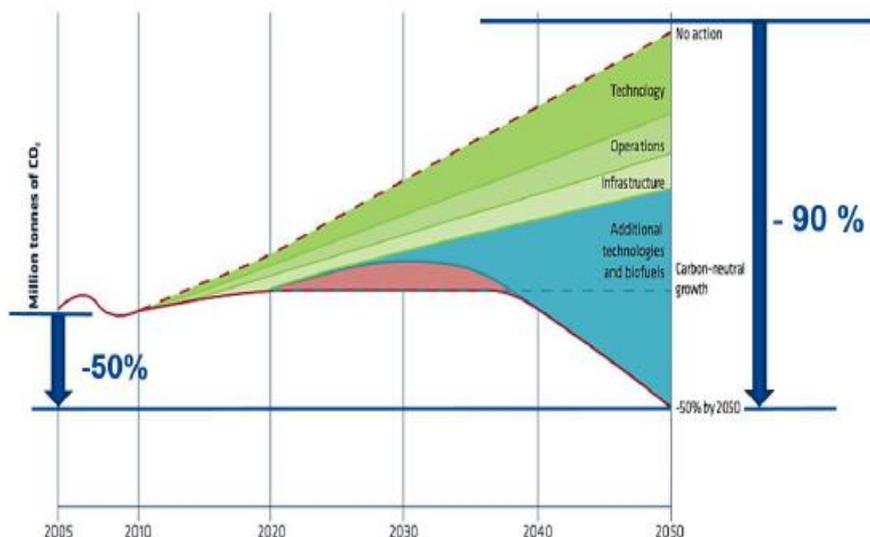
En 2019, lors de la 40<sup>ème</sup> assemblée générale, les 193 pays membres de l'OACI ont demandé « *au Conseil [de l'OACI] de continuer à explorer la possibilité d'un objectif ambitieux à long terme pour l'aviation internationale* ». Il a été décidé de lancer des études afin d'évaluer la faisabilité et l'impact de tout objectif proposé, en tenant compte de son incidence sur la croissance ainsi que sur les coûts dans tous les pays, notamment ceux en développement, et ainsi faire avancer les travaux en vue de la 41<sup>ème</sup> session de l'Assemblée de l'OACI. L'évaluation des objectifs à long terme doit s'appuyer sur les renseignements fournis par les États contractants concernant leur retour d'expérience au regard des actions menées pour réaliser leurs objectifs à moyen terme<sup>19</sup>. Dans une communication, présentée au nom de l'Union européenne, la France avait plaidé pour l'adoption d'un objectif ambitieux de réduction à 2050 : elle continuera à le faire en participant activement aux travaux des groupes techniques du comité pour la protection de l'environnement de l'OACI proposant un objectif de réduction d'au moins 50 % des émissions par rapport à 2005 conformément à l'objectif adopté en 2009 par l'IATA. L'objectif de réduction de 50 % des émissions en 2050 par rapport à 2005 est déjà très ambitieux comme l'illustre le graphique ci-dessous (source Safran). Compte tenu de l'augmentation prévisible du trafic, une réduction de 50 % de 2005 à 2050 des émissions de gaz à effet de serre du secteur suppose en

---

<sup>18</sup> NDC : national determined contributions : contributions nationales déterminées. Les NDC présentent les politiques et mesures climatiques des pays pour réduire les émissions et s'adapter aux changements climatiques.

<sup>19</sup> [https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/WP/wp\\_626\\_fr.pdf](https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/WP/wp_626_fr.pdf)

effet, en considérant que le trafic sera multiplié par cinq durant cette période, une réduction de celles-ci de 90 % par passager kilomètre. Aller plus loin semble difficile tant qu'un avion neutre en carbone n'aura pas été mis au point.

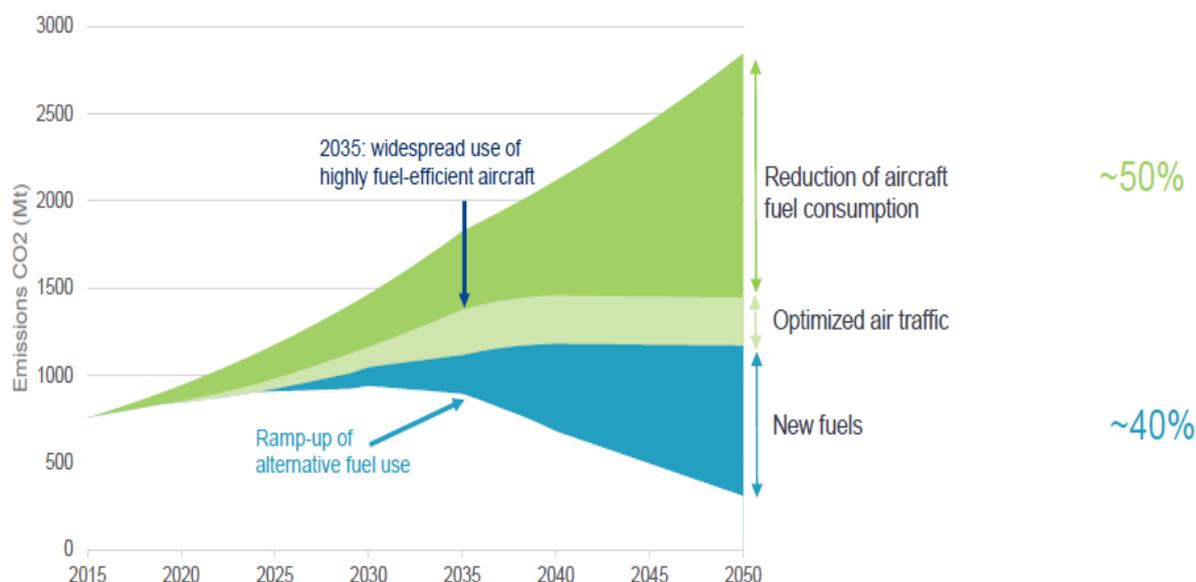


**Figure 3 :** Perspectives de réduction des émissions de GES de l'aviation mondiale<sup>20</sup>

Les fuseaux verts et bleus montrent les réductions envisagées des émissions des gaz à effet de serre provenant respectivement des progrès technologiques attendus à la conception, des améliorations en vol et au sol et enfin, en bleu, des biocarburants et des progrès technologiques supplémentaires sur les motorisations et les carburants.

Cet objectif de réduction de 90 % des émissions en 2050 peut naturellement être atteint de différentes manières. La figure 4 ci-après extraite d'une présentation effectuée par Safran en décembre 2019 s'appuie beaucoup plus fortement sur le progrès technologique des appareils et de leurs motorisations. Celle-ci ne pourra cependant se réaliser que dans la mesure, et c'est l'objet des paragraphes suivants, où d'importants crédits de R&D sont déployés, dès aujourd'hui, pour permettre le déploiement non seulement d'avions et de motorisations ultra sobres dans la décennie 2030 -2040, mais également, à l'horizon 2050, d'avions zéro-émissions dont la conception et le design seront en rupture par rapport aux avions actuels.

<sup>20</sup> Source : Safran, feuille de route environnementale 2019 <https://www.safran-group.com/fr/media/safran-presente-sa-feuille-de-route-rt-et-environnement-20191206>



**Figure 4 :** Vision de Safran d'une possible stratégie de réduction plus orientée vers l'amélioration de l'efficacité énergétique de la flotte<sup>21</sup>

### 1.3.2 Travailler à la complémentarité des modes de transports, chacun sur son domaine de pertinence

En contrepartie du plan de soutien à la filière aéronautique, le Gouvernement a demandé à Air France de réviser le périmètre du marché domestique en se retirant des vols régionaux, dès lors qu'il existe une alternative ferroviaire inférieure à 2h30, tout en préservant les correspondances ultramarines et internationales. Cette mesure, également proposée par la Convention citoyenne pour le climat et reprise dans le projet de loi portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets, en cours de discussion parlementaire pendant l'écriture de ce rapport, affectera toutes les compagnies aériennes, y compris celles à bas coût.

### 1.3.3 Favoriser l'apparition d'aéronefs ultra sobres dans le cadre du plan de soutien à la filière aéronautique

L'un des buts du plan de soutien à l'aéronautique est d'accélérer la mise au point d'un avion ultra sobre : le successeur de l'A320 pourrait ainsi consommer 30 % d'énergie en moins. Ceci implique des avions plus légers, utilisant des moteurs plus efficaces et bénéficiant d'un design repensé.

Cela suppose :

- un usage renforcé des matériaux composites, plus légers, appliqué aux moteurs, aux trains d'atterrissage et à de nombreux équipements, voire à des pièces à géométrie très complexe comme les panneaux recouvrant la pointe avant de l'appareil ;
- une utilisation accrue de la fabrication additive, qui permet de fabriquer des pièces en trois dimensions par addition de couches successives sous contrôle d'un ordinateur. Cette technologie devrait permettre d'obtenir des gains significatifs sur le poids des pièces ainsi fabriquées, y compris de celles composant les moteurs ;

<sup>21</sup> Source : <https://www.safran-group.com/media/safran-introduces-its-rt-and-environment-road-map-20191206>

- de travailler à un successeur du moteur Leap<sup>22</sup> qui équipe les avions actuellement mis en service et qui permet déjà par rapport à la précédente génération, notamment le CFM 56, une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> de 16 %, de NO<sub>x</sub> de 50 % ainsi qu'une diminution sensible du niveau sonore du moteur. Ces performances s'expliquent notamment par un fort taux de dilution, de 12 (taux qui caractérise le rapport entre la poussée générée par l'air extérieur comprimé et celle générée par les gaz de kérosène brûlés) nettement plus important que celui du CFM-56. Ainsi la majorité de la poussée provient d'air frais comprimé (sans pollution ni gaz à effet de serre). L'objectif visé est d'obtenir des taux de dilution de l'ordre de 20 à 25 pour la nouvelle génération de moteurs. Dès 2020, des crédits permettront de financer cinq projets relatifs sur le « module fan » (autrement dit la soufflante) de ce futur moteur : ils porteront sur l'amélioration du taux de dilution ainsi que sur la recherche d'une plus grande compacité. De telles valeurs des taux de dilution nécessiteront des allègements importants, une architecture innovante, l'utilisation de matériaux avancés, ainsi que, vraisemblablement, le recours à des ensembles propulsifs sans carénage (nacelle)<sup>23</sup> ;
- des travaux sur le *design* de l'appareil. Le projet MAJESTIC, financé dans le cadre du plan de soutien à l'aéronautique, est ainsi dédié à la conception d'une voilure à fort allongement et à la masse optimisée, pouvant apporter jusqu'à 5 % de gain d'émissions. Cette voilure nécessite de concevoir les systèmes et surfaces adaptés (ailerons, becs) permettant d'en garder le contrôle (une aile à fort allongement se déformant beaucoup au cours du vol).

### 1.3.4 Accélérer et optimiser le renouvellement de la flotte dans le cadre du plan de soutien à la filière aéronautique

Dans le cadre du plan gouvernemental de soutien à la filière aéronautique, Air France est convenu en juin 2020 d'accélérer le renouvellement de sa flotte, ce qui lui permettra également d'être plus compétitive par la baisse de sa facture carburant. Cette opération conduit parallèlement à une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre grâce à :

- la commande ferme de 60 A220-300, assortie de 30 options et 30 droits d'acquisition, pour remplacer progressivement sa flotte d'A318 et d'A319 ( l'A220-300 génère 20 % d'émissions de CO<sub>2</sub> en moins comparé à des appareils de sa catégorie et est deux fois moins bruyant) ;
- la sortie des 10 A380 de sa flotte à l'horizon 2022, et l'étude du remplacement des A380 par des appareils de nouvelle génération (A350). Avec ses quatre réacteurs, l'A380 consomme 20 à 25 % de carburant en plus par siège que les appareils biréacteurs long-courriers de nouvelle génération, et émet donc plus de CO<sub>2</sub>.

De telles mesures sont source de gains importants en termes de réduction d'émissions de CO<sub>2</sub>, mais elles impliquent des investissements dont le coût est élevé au regard de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée. Elles ne sont donc à encourager que dans le cadre d'un soutien sur la durée à l'activité de la filière aéronautique française.

### 1.3.5 Favoriser une meilleure gestion de l'espace aérien et du trafic aérien commercial, permettant d'optimiser les trajectoires

Des progrès notables ont été réalisés depuis le début des années 2000. Après un premier paquet de règlements du Parlement européen et du Conseil en 2004 et de nombreux règlements d'exécution de la Commission, a été adopté en 2009 le paquet « ciel unique II », suivi de nouvelles mesures d'exécution,

<sup>22</sup> *Leading Edge Aviation Propulsion* : le moteur Leap correspond à la génération actuelle de turboréacteurs conçue par le consortium CFM International détenu à 50/50 par Safran Aircraft Engine et GE.

<sup>23</sup> L'Onera précise qu'au-delà d'un facteur de dilution de l'ordre de 15, la meilleure solution n'est plus le turbofan (à cause de contraintes de masse) mais un ensemble propulsif sans carénage.

en parallèle au lancement et à la mise en œuvre du programme SESAR, volet technologique du Ciel unique, aboutissant entre autres à :

- la modernisation continue des systèmes et des infrastructures ainsi que des procédures de gestion du trafic aérien (navigation par satellite pour des trajectoires plus libres et plus précises, meilleure diffusion et utilisation des données aéronautiques et météorologiques, communications numériques entre contrôleurs aériens et pilotes ...) en cohérence avec le plan mondial de navigation aérienne (GANP) de l'OACI ;
- la création de blocs fonctionnels d'espace aérien ou "*Functional Airspace Blocks*" (FAB), visant à mieux interfacer les espaces aériens entre États membres et ouvrant la possibilité de désigner un prestataire de circulation aérienne unique pour contrôler le trafic au-dessus de plusieurs États membres. Le 2 décembre 2010, la France, l'Allemagne, la Suisse, la Belgique, les Pays-Bas et le Luxembourg ont ainsi signé le Traité qui a permis la mise en place d'un FAB commun au-dessus de leurs territoires (le FABEC - FAB Europe Centrale), sans pour autant retenir un prestataire unique, mais en facilitant la délégation de certaines portions frontalières de leur espace national à un prestataire d'un État voisin. Ces blocs, et notamment le FABEC, ont favorisé des travaux conjoints entre prestataires de services sur les aspects opérationnels avec une approche transfrontière, en liaison avec le « gestionnaire du réseau », rôle confié par la Commission européenne à Eurocontrol.

La poursuite des améliorations des systèmes de gestion du trafic aérien devrait permettre de réduire à moyen terme les émissions de GES de l'aviation européenne dans des proportions évaluées de 6 à 10 % par rapport à la gestion du trafic aérien au début des années 2010. Certaines sont déjà en cours de mise en œuvre. Citons notamment :

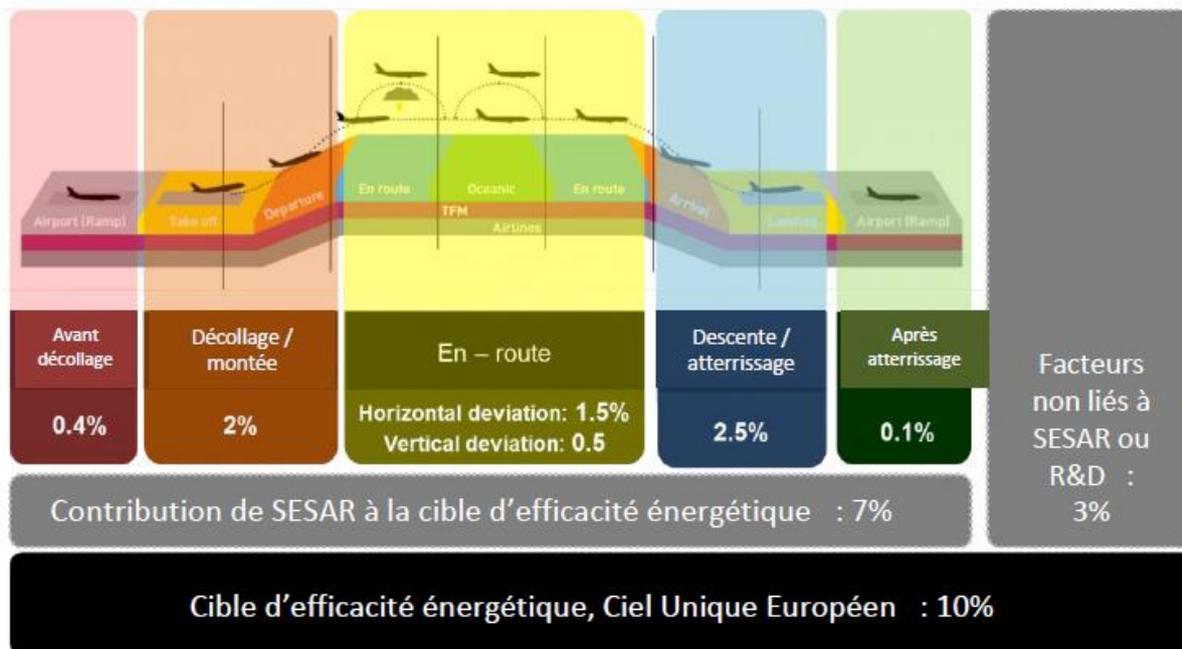
- la gestion des séquencements à l'arrivée de façon anticipée, déjà en œuvre sur CdG, Orly et Nice (et au centre de Reims pour les arrivées sur Londres et Zurich) ;
- la réduction dans la phase de décollage des temps d'attente avec moteur tournant (CdG, Orly, Nice) dans le cadre de l'A-CDM (*Airport collaborative decision making*) ;
- le déploiement de routes directes, puis d'espaces aériens à itinéraires libres<sup>24</sup> au niveau national puis transnational (Projet *Free Route* jusque 2025).

D'autres améliorations sont en cours de mise au point comme, par exemple, l'optimisation des profils de vols, les profils de descente en particulier, par le partage des intentions entre le sol (séquencement) et les données 4D de l'avion (projet xStream ciblant les avions à retarder en croisière et au sol pour une amélioration de la fluidité du trafic et une diminution de l'empreinte environnementale).

Un objectif de 100 % de descentes continues grâce à la navigation par satellite pourrait ainsi être envisagé, assurant des gains de consommation et de nuisances acoustiques (notamment grâce à l'abolition des paliers nécessitant des augmentations de poussée).

---

<sup>24</sup> Des « routes directes » sont introduites depuis plusieurs années, permettant aux compagnies aériennes des trajectoires de nuit (lorsque le trafic est plus faible) permettant de relier deux points, sans passer par le réseau de route autrement obligatoire, selon les itinéraires les plus fréquentés à ces horaires. Les espaces aériens à itinéraires libres vont être introduits progressivement d'ici fin 2025 en Europe, en commençant dès 2021 en France. Ils consistent à délimiter de grands blocs d'espace aériens dans lesquels les compagnies aériennes peuvent librement choisir de planifier leur vol en ligne droite entre deux points à leur périphérie, sous réserve d'avoir à éviter une zone d'entraînement militaires temporairement réservée.



**Figure 5 :** Contribution du ciel unique européen et de SESAR à la cible d'efficacité énergétique<sup>25</sup>

Dès lors qu'elles permettent d'économiser du carburant, de telles mesures s'avèrent rapidement extrêmement rentables. Leur mise en œuvre doit cependant s'effectuer dans le cadre d'une gestion parfaite de la sécurité du trafic aérien.

Les améliorations potentielles au départ et à l'arrivée des aéroports sont cependant limitées par la priorité donnée à l'atténuation des nuisances sonores au profit des riverains qui conduit à éviter, en dessous d'une certaine hauteur (appelée LTO, pour *Landing and take off*), le survol des zones les plus peuplées : cette hauteur est de l'ordre de 2000 mètres pour les arrivées, de 3000 mètres pour les départs. Les descentes continues avec point de convergence (*Point Merge*), si elles permettent une amélioration globale, sont parfois difficiles à mettre en œuvre, car elles impliquent de redistribuer les nuisances sur des zones qui en étaient épargnées. Avec le projet « PBN to ILS » (*Performance Based Navigation to Instrument landing System*<sup>26</sup>) à Paris-CDG, la DSNA vise à mettre en service en 2023 des descentes continues H24 avec des raccordements entre la phase initiale d'approche et les axes de piste réduisant le survol des zones les plus sensibles tout en optimisant les séquences d'atterrissage.

La DSNA est très impliquée dans tous les programmes permettant l'optimisation des trajectoires et la fluidification du trafic, afin d'être en mesure d'assurer l'accroissement de trafic à venir. La gestion performante et partagée des données aéronautiques (« *information management* ») sera cruciale dans le futur et la sécurisation de ces données constituera un enjeu majeur.

La DSNA travaille par exemple sur le projet FEAT (*Flight Efficiency Analysis Tool*) - qui s'appuie sur les technologies de *Big Data* - à analyser les données de vol afin d'en optimiser la performance environnementale. Elle développe également, des algorithmes fondés sur l'utilisation de l'intelligence artificielle pour optimiser la configuration des secteurs de contrôle (projet SINAPS).

La modernisation technique est un élément essentiel et indispensable à l'atteinte des objectifs de

<sup>25</sup> Source : DGAC, Plan d'action de la France pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile internationale, [https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ActionPlan/France\\_PlanAction\\_fr.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ActionPlan/France_PlanAction_fr.pdf)

<sup>26</sup> Conduite de précision du vol en utilisant la navigation par satellite (PBN) jusqu'à l'acquisition pour l'atterrissage du système de guidage situé au niveau de la piste (ILS)

performance dans ce domaine, avec la mise en service des nouveaux systèmes permettant, à la fois, les gains environnementaux espérés et le relèvement des niveaux de sécurité et de capacité.

### 1.3.6 Réduire les émissions de l'aviation au sol et encourager la démarche volontariste de réduction des émissions de gaz à effet de serre des aéroports

Depuis 2016, les onze principaux aéroports français sont engagés dans une démarche de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre et de polluants. L'objectif, issu de la Loi relative à la transition énergétique pour une croissance verte de 2015, est de réduire, par rapport à l'année 2010, de 10 % au moins en 2020 et de 20 % au moins en 2025, l'intensité<sup>27</sup> en gaz à effet de serre et en polluants atmosphériques.

En outre, certains aéroports sont engagés dans une démarche de réduction volontaire de leurs émissions de CO<sub>2</sub>. Le programme *Airport Carbon Accreditation* (ACA), porté par l'ACI EUROPE (*Airports Council International-Europe*), est un programme d'engagements volontaires de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> du secteur aéroportuaire, fortement reconnu à l'international. La France est devenue en 2018 le pays avec le plus grand nombre d'aéroports accrédités dans le monde. Aujourd'hui, ce sont 40 aéroports français qui ont adhéré à cette démarche.

Plusieurs aéroports (Nice, Lyon, Cannes et St Tropez) ont déjà atteint le plus haut niveau de cette accréditation. Parmi ceux qui enregistrent les plus forts trafics :

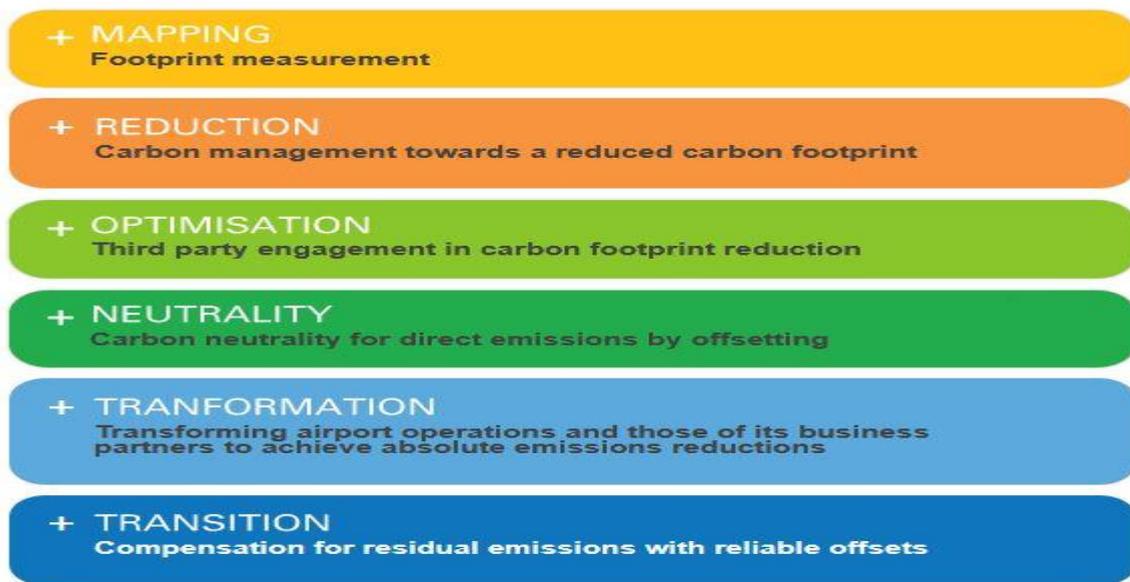
- **L'Aéroport Nice Côte d'Azur** a accédé en 2016 au niveau 3 du programme *Airport Carbon Accreditation*. C'est le premier aéroport français de province à accéder à ce niveau d'accréditation. Il rejoint ainsi le cercle très fermé des plus grands aéroports internationaux ayant atteint ce niveau ;
- **L'Aéroport de Lyon** enregistre aussi de très bons résultats en matière de performance environnementale. Les émissions par passager (en équivalent CO<sub>2</sub>) ont été ramenées à 0,42 kg contre 0,65 kg en 2013 sur le périmètre de l'aéroport, soit -35 %.

La difficulté sur un aéroport provient de la co-activité de nombreux intervenants. Si l'exploitant d'aéroport en est le chef d'orchestre, toutes les décisions ne lui appartiennent pas. Les assistants en escale ont un rôle à jouer dans la décarbonation. Les aéroports ne prennent pas non plus en compte dans leur empreinte environnementale les aéronefs qui fréquentent leur plateforme, même si leur politique commerciale vise à accroître leur offre : à l'instar de l'aéroport de Mulhouse, Vinci envisage sur Lyon Saint-Exupéry de mettre en place une nouvelle modulation de la redevance atterrissage en fonction des émissions de CO<sub>2</sub> des aéronefs dite « modulation CO<sub>2</sub> », dans le but d'inciter les usagers aéronautiques de l'aérodrome de Lyon-Saint Exupéry à exploiter les vols, tant commerciaux que de marchandises, avec des aéronefs moins émetteurs de CO<sub>2</sub> dans la phase LTO<sup>28</sup>. Afin d'aller plus loin dans la réduction de leur empreinte environnementale, deux niveaux supplémentaires ont été ajoutés récemment au système ACA : ils doivent notamment permettre aux exploitants de définir des objectifs de réduction des émissions en valeur absolue à long-terme compatibles avec l'Accord de Paris.

---

<sup>27</sup> Définie comme le rapport entre les quantités émises et le nombre d'unités de trafic (UdT) (mesurée en passager équivalent-kilomètre transporté (PKTeq) avec l'équivalence entre 100kg de fret (ou de poste) et 1 passager).

<sup>28</sup> Le lecteur trouvera l'avis de l'autorité des transports sur ce sujet à l'adresse suivante : [https://www.autorite-transport.fr/wp-content/uploads/2021/01/version-publique\\_decision-2020-085\\_adl-tarifs-2021.pdf](https://www.autorite-transport.fr/wp-content/uploads/2021/01/version-publique_decision-2020-085_adl-tarifs-2021.pdf)



**Figure 6 :** Les six niveaux du programme Airport Carbon Accreditation<sup>29</sup>

Des gains sont possibles à court terme et attendus notamment grâce à :

- la généralisation de l'utilisation de tracteurs électriques pour le roulage au sol et le raccordement au réseau électrique (vert) 400Hz de l'aéroport une fois l'avion au stationnement. Ce raccordement permet la climatisation et l'éclairage de l'avion sans faire appel aux groupes auxiliaires de puissance à bord des avions (APU) qui fonctionnent au kérosène ;
- à titre d'exemple, l'engagement pris par le Groupe AdP d'aboutir à la neutralité carbone en 2030 (niveau 3+ de l'ACA) en poursuivant ses actions d'efficacité énergétique et de développement de nouvelles sources d'énergie renouvelable grâce notamment à la géothermie profonde proposée dans le cadre du projet de 4<sup>ème</sup> contrat de régulation économique (CRE4) pour l'aéroport Paris - Charles de Gaulle.

La crédibilité de cette démarche globale repose cependant sur la mise en place d'une parfaite transparence sur les données et les questions environnementales dans le cadre d'une démarche volontaire de la part des aéroports qui pourrait être, au besoin, encadrée réglementairement afin d'en sécuriser la feuille de route.

### **1.3.7 Mettre au point et déployer les carburants neutres de demain et les motorisations adaptées**

Batteries, hydrogène liquide associé à des piles à combustible ou à des turbines, carburants durables, motorisations hybrides constituent autant de technologies susceptibles de favoriser le déploiement d'une aviation neutre en carbone dont il faut encourager le développement.

#### *1.3.7.1 L'aviation à hydrogène*

Un avion hydrogène peut prendre de multiples formes suivant le type de motorisation envisagée : propulsion provenant d'une PAC et d'un moteur électrique, d'une turbine à hydrogène, ou encore d'un système hybride associant une PAC et une turbine. Ceci conduira, suivant les cas, soit à un *design*

<sup>29</sup> Source : Airport carbon accreditation, <https://www.airportcarbonaccreditation.org/about/6-levels-of-accreditation.html>

relativement classique, soit à un *design* en rupture plus ou moins forte de l'avion (position et forme des ailes, voire aile volante, moteur éventuellement dépourvu de carénage ...). En septembre 2020, Airbus a ainsi annoncé qu'il travaillait sur trois configurations possibles dans le cadre de son programme ZEROe, pour zéro émissions<sup>30</sup> :

- un court-courrier utilisant des turbopropulseurs hybrides à hydrogène, entraînant des hélices à huit pales et pouvant embarquer environ 100 passagers, mais pour des trajets courts d'environ 1500km. En décembre, Airbus a déposé un brevet envisageant ainsi un appareil à plus court rayon d'action muni de six *pods*, autrement dit de nacelles de forme ovoïde, placés sous les ailes, changeables à chaque escale et comprenant un réservoir hydrogène, une pile à combustible, et un moteur électrique avec son hélice ;



**Figure 7** : Concepts d'avion hydrogène imaginé par Airbus équipé de 6 pods rechargeables placés sous les ailes<sup>31</sup>.

- un moyen-courrier de configuration classique avec 120 à 200 places capable d'effectuer des vols de plus de 3500 km grâce à deux moteurs à turbine à gaz modifiées fonctionnant à l'hydrogène, l'hydrogène liquide étant stocké à l'arrière de l'avion ;
- une aile volante d'environ 200 places. Cette configuration présente un intérieur particulièrement large, ouvrant ainsi de multiples options pour le stockage et la distribution d'hydrogène. Dans cet exemple, les réservoirs de stockage d'hydrogène liquide sont stockés sous les ailes. Deux turboréacteurs hybrides à hydrogène fournissent la poussée.

Dans quasiment tous les cas, le recours à l'hydrogène liquide plutôt qu'à l'hydrogène gazeux s'impose pour gagner du volume, ce qui va se traduire par un certain nombre de défis technologiques à relever, portant notamment sur le choix des matériaux, sur le remplissage du réservoir, sur l'amélioration des performances des piles à combustible et de l'évacuation de la chaleur qu'elles dégagent, sur la gestion des fuites d'hydrogène. Certains programmes de recherche font déjà l'objet de financements dans le cadre du plan de relance et, sous l'impulsion de la DGAC et du ministère des transports, du CORAC (*Conseil pour la recherche aéronautique civile*).

L'un des principaux défis réside dans la gestion de l'hydrogène sous forme diphasique (liquide/gaz) depuis le réservoir jusqu'à la turbine ou la PAC. Dans ce cadre, le plan de soutien à l'aéronautique prévoit le financement du projet HYPERION qui permettra d'identifier et de faire une évaluation préalable des risques d'un moteur à hydrogène et de son circuit d'alimentation cryogénique, en associant les compétences de l'industrie aéronautique et de l'industrie spatiale (Ariane Group).

<sup>30</sup> <https://translate.google.com/translate?hl=fr&sl=en&u=https://www.airbus.com/&prev=search&pto=aue>

<sup>31</sup> Source : Airbus reproduit par le Figaro : <https://www.lefigaro.fr/societes/aile-volante-avion-electrique-rechargeable-comment-airbus-prepare-l-avion-du-futur-20201211>

Une évaluation des travaux menés durant cette phase de faisabilité, sera réalisée dans les deux années qui viennent afin d'identifier les principaux obstacles restant à franchir ainsi que les configurations envisageables : les progrès réalisés sur la gestion diphasique, sur les effets de la vapeur d'eau et sur la maîtrise de la sécurité seront au cœur de cette évaluation.

#### 1.3.7.2 L'aviation hybride

Si un long courrier, reposant entièrement sur l'électrique ou l'hydrogène, ne sera pas accessible avant longtemps, le développement d'avions hybrides permet néanmoins d'utiliser une plus grande quantité d'électricité pour réduire la consommation de carburant et les émissions de carbone. Le projet Dragon de l'ONERA a ainsi montré qu'un avion hybride court-moyen-courrier pouvait apporter un gain d'efficacité de l'ordre de 10 % par rapport à son équivalent classique.

Un premier niveau d'hybridation possible consiste en une électrification plus importante de l'appareil. Les systèmes électriques devraient ainsi remplacer progressivement l'hydraulique de bord.

Un second niveau d'hybridation à base de batteries embarquées consisterait à fournir un surcroît de puissance au moteur durant certaines phases de vol ce qui permettrait d'embarquer un moteur optimisé qui consommerait moins de kérosène. Cette hybridation pourrait bénéficier au roulage électrique autonome pour les avions dont le temps de roulage est important proportionnellement au temps de vol (court-courriers). Pour ce type d'appareil, mais surtout pour les vols moyen-et long-courriers, l'utilisation d'engins tracteurs électriques reste une solution potentielle intéressante qui permet d'assurer la décarbonation de l'aviation au sol sans pénaliser la charge utile des appareils. Pour des aéronefs de tourisme, des avions d'affaire à six places à turbopropulseur à grande vitesse, ou des hélicoptères légers (2 à 3 tonnes), l'hybridation électrique pourrait même être mature d'ici cinq ans, avec des composants électriques se rapprochant dans certains cas de ceux utilisés dans l'automobile.

Le plan de soutien à la filière aéronautique financera ainsi le projet HELYBRID de démonstration d'hybridation électrique de la propulsion d'un hélicoptère léger. Il financera également dans le cadre des projets COMPAQ et EPROPTTECH des travaux sur des technologies de réseaux électriques embarqués capables de transporter des puissances de l'ordre du MW. Il faut en effet des moteurs électriques capables de développer une puissance supérieure au MW pour permettre le décollage d'avions d'une certaine taille.

#### 1.3.7.3 L'aviation tout électrique à batteries

L'Agence européenne de sécurité aérienne, l'AESA, vient de certifier en juin un premier avion entièrement électrique, le Pipistrel Velis Electro. Il ne s'agit cependant que d'un biplace destiné à la formation des pilotes.

À très court terme, le développement de l'aviation électrique, favorisé par les progrès technologiques des batteries<sup>32</sup> va se concentrer sur des secteurs très précis tels que les avions de quelques places ou les engins à décollage vertical. Safran envisage ainsi, dans sa vision du futur de l'aviation électrique présentée lors du salon du Bourget 2019, le développement d'abord de taxis volants, puis d'un *commuter* de dix places en 2025 (pour des énergies transmises en interne de 500 kW) et d'un avion régional de 40 places après 2030.

Pour aller plus loin et envisager des avions régionaux de plus grande capacité, il faut aboutir d'une part à une plus grande densité énergétique massique des batteries ainsi qu'à la mise au point de moteurs et de réseaux électriques adaptés à des puissances supérieures au MWe. De telles technologies existent déjà, dans les TGV ou dans certains paquebots, mais sont malheureusement trop lourdes et ne sont pas

---

<sup>32</sup> Des batteries d'une densité de cellule de 400 Wh/kg (soit 300 Wh/kg pour le pack, qui comprend les cellules, leur système de gestion et leur enveloppe extérieur) semblent envisageables à court terme. - Actuellement, les batteries lithium-ion usuelles ont une densité énergétique massique inférieure à 250 Wh/kg-

adaptées à l'aéronautique.

Les projets COMPAQ et EPROPTECH déjà cités, qui portent sur des technologies de réseaux électriques embarqués capables de transporter des puissances de l'ordre du MW devraient contribuer à leur développement.

La course au progrès dans le domaine des batteries relève d'abord du secteur automobile, même s'il est possible que le secteur aéronautique cherche à utiliser à terme des batteries présentant une performance plus élevée (et donc plus onéreuses).

Enfin, l'utilisation dans l'aéronautique de moteurs électriques d'une puissance supérieure au MWe suppose l'utilisation de technologies de ruptures, utilisant par exemple la supraconductivité, et nécessite des recherches spécifiques. Aux États-Unis, l'entreprise *Wright Electric*, financée notamment par la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), développe ainsi un moteur électrique de 1,5 MW, ainsi qu'un onduleur de trois kilovolts.

#### 1.3.7.4 Le développement des biocarburants

En l'état actuel des technologies, le développement d'un long-courrier électrique n'est pas possible et celui d'un long-courrier hydrogène demande une révolution du *design* de l'appareil qui ne pourra pas se généraliser dans l'ensemble de la flotte avant au mieux 2050-2060. Durant toute cette période, le recours à des avions ultras sobres utilisant des carburants aéronautiques durables (y compris des e-carburants) s'impose donc dans le chemin vers la neutralité carbone.

En janvier 2020, le Gouvernement français a publié une feuille de route<sup>33</sup> afin de préciser l'ambition et la stratégie que la France pourrait développer en matière de biocarburants aéronautiques durables dès 2025. Cette ambition et cette stratégie s'appuient sur cinq principes fondamentaux que sont le maintien d'un niveau optimal de sécurité des vols, l'assurance de la durabilité des carburants d'aviation produits en France, la viabilité économique de la filière, la mise en place de chaînes logistiques économes, la cohérence avec les initiatives supranationales.

Cette feuille de route envisage une trajectoire réaliste d'incorporation à court et moyen termes, de 2 % de biokérosène en 2025 et de 5 % en 2030. À long terme, conformément à la stratégie nationale bas carbone, elle considère un objectif de substitution de 50 % du carburant conventionnel d'origine fossile par des carburants aéronautiques durables en 2050, cohérent avec l'atteinte de la neutralité carbone en France à cet horizon.

À terme, les carburants aéronautiques durables devraient permettre une réduction des émissions de GES jusqu'à 90 % pour les biocarburants avancés, et leur proportion dans le kérosène, limitée aujourd'hui à 50 %, devrait pouvoir augmenter significativement. Des kérosènes entièrement composés de biocarburants ont déjà été testés.

À cette fin, le Gouvernement a lancé fin janvier 2021 un appel à manifestation d'intérêt (AMI) pour des projets de création d'unités de production de biocarburants avancés pouvant être utilisés dans l'aéronautique. Sa clôture a été repoussée de quelques semaines à fin juillet pour tenir compte de la COVID-19. Cet AMI, en cours de dépouillement, a pour objectif d'identifier les projets d'investissement dans des unités de production de carburants de deuxième génération et de carburants de synthèse durables, actuellement envisagés par les acteurs économiques, et en particulier les projets d'investissement dans des unités de production de carburants durables à destination de l'aéronautique. Les projets retenus, après examen du dossier, feront l'objet d'un accompagnement afin de favoriser la réalisation de l'investissement. Les réponses recueillies permettront d'évaluer les conditions nécessaires à la création de ces unités de production et le cas échéant de définir des mécanismes de soutien à même d'assurer l'émergence d'un marché pérenne. Les suites de l'AMI s'inscrivent désormais

---

<sup>33</sup> <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Feuille%20de%20route%20fran%C3%A7aise%20pour%20le%20d%C3%A9ploiement%20des%20biocarburants%20a%C3%A9ronautiques%20durables.pdf>

dans les travaux relatifs à la stratégie pour l'innovation *Produits biosourcés et carburants durables*.

Le choix des projets retenus puis des mécanismes de soutien financier aura un double but : il devra d'une part favoriser l'émergence d'installations capables de répondre, au moindre coût, aux objectifs d'incorporation retenus par le Gouvernement en 2025 et 2030, mais, d'autre part et dans une perspective plus lointaine, permettre de recourir à des ressources différentes de celles qui seront utilisées à court terme. Cette démarche devra également favoriser le déploiement de filières éventuellement plus coûteuses afin d'en apprécier la faisabilité et le potentiel. Elle pourra également prendre en compte l'intérêt de l'adjonction d'hydrogène dans le traitement de la biomasse afin d'en accroître le contenu énergétique.

Cet AMI permettra enfin de se prononcer sur l'utilisation possible de produits agricoles, notamment de résidus de cultures et de cultures intermédiaires, dans une chaîne de production de biocarburants aéronautiques durables.

L'UE devrait, par ailleurs, dans le cadre d'une initiative sur les carburants durables pour l'aérien qui devrait sortir courant 2021, envisager des mesures pour accompagner leur développement. Dans sa *Stratégie de mobilité durable et intelligente*<sup>34</sup>, publiée début décembre 2021, la Commission européenne a d'ores et déjà souligné la nécessité d'accorder à l'aérien un accès prioritaire aux carburants liquides et gazeux renouvelables et à faible teneur en carbone, faute de systèmes de propulsion alternatifs appropriés à court terme.

### 1.3.8 Mettre en place les signaux économiques nécessaires à la décarbonation du secteur

L'introduction d'un signal-prix carbone dans le secteur de l'aviation commerciale est nécessaire pour contribuer à sa décarbonation. Dans les travaux qu'elle a menés sur le sujet en 2017<sup>35</sup>, la Commission présidée par Joseph Stiglitz et Nicholas Stern considérait que le prix explicite du carbone mondial nécessaire pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris devait être compris au moins entre 40 et 80 dollars la tonne de carbone en 2020, et augmenter progressivement jusqu'à au moins 50 à 100 dollars en 2030. Son utilisation ne suffira cependant pas à garantir le développement d'une aviation neutre en carbone qui demande des recherches à très long terme.

Le recours à ce signal prix carbone, dont le produit servirait à financer les recherches à long terme, serait une très bonne solution dès lors qu'il s'appliquerait à tous les pays et à toutes les compagnies aériennes à une échelle régionale, voire mondiale. Elle est malheureusement inapplicable à une échelle restreinte dans une économie où la concurrence entre les compagnies aériennes risque de détourner les passagers au profit de celles qui ne seraient pas soumises à ce signal prix.

Dans ces conditions, la solution la plus efficace pour la décarbonation de l'économie consiste à soumettre l'aviation intérieure de l'Union européenne à la même valeur du carbone que le reste de l'économie, en soumettant, ce qui est déjà le cas, le secteur aérien européen au système d'échange de quotas d'émissions de l'Union européenne (marché ETS) et l'aviation internationale au système CORSIA (même si son prix est faible aujourd'hui). Dans sa *Stratégie de mobilité durable et intelligente*<sup>36</sup>, publiée début décembre 2020, la Commission indique qu'une proposition de révision de la directive SEQUE de l'UE sera présentée, notamment en vue de réduire les quotas du SEQUE alloués gratuitement aux compagnies aériennes. Enfin, l'externalité carbone ne doit pas être payée deux fois, ce qui conduit

---

<sup>34</sup> [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip\\_20\\_2329](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_20_2329)

<sup>35</sup> *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices supported,*

{ [HYPERLINK  
https://static1.squarespace.com/static/54ff9c5ce4b0a53deccfb4c/t/59b7f2409f8dce5316811916/1505227332748/CarbonPricing\\_FullReport.pdf](https://static1.squarespace.com/static/54ff9c5ce4b0a53deccfb4c/t/59b7f2409f8dce5316811916/1505227332748/CarbonPricing_FullReport.pdf) }

<sup>36</sup> [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip\\_20\\_2329](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_20_2329)

la Commission à envisager, dans le cadre de la révision de la directive sur le marché ETS, soit une exemption par l'OACI des vols intérieurs à l'espace européen du dispositif CORSIA<sup>37</sup> ou, en cas de refus de l'OACI, un aménagement du marché ETS sur les émissions des vols aériens entre les pays européens (le marché ETS ne porterait que sur les émissions non incluses dans le système CORSIA qui ne vise que les émissions supérieures à un niveau de référence fixé) : c'est l'option dite ETS-CORSIA<sup>38</sup> "mix". La Commission devrait présenter ses propositions courant 2021.

Tout comme cela l'a déjà été fait sur l'aéroport de Bâle-Mulhouse, la modulation de la redevance d'atterrissage envisagée par Vinci sur Lyon Saint-Exupéry pourrait permettre de favoriser sur le long terme le recours à des motorisations neutres en carbone dans la phase LTO : l'externalité carbone ne doit cependant pas être payée deux fois<sup>39</sup>.

### 1.3.9 Développer la recherche de long terme

En juin 2020, le Gouvernement a annoncé un plan de soutien à l'aéronautique de 15 Md€ pour aider la filière à traverser la crise et préparer la prochaine génération d'avions décarbonés. Pour soutenir l'innovation et accélérer les progrès technologiques, ce plan prévoit un investissement en R&D de 1,5 milliard d'euros sur 3 ans. De par sa priorité écologique, cette démarche est inscrite dans le plan de Relance du Gouvernement, lancé en septembre 2020, d'un budget de 100Md€. La mise en œuvre de ce volet R&D du plan de relance aéronautique a été confiée aux services de la DGAC sous l'égide du ministre chargé des transports dans le cadre du CORAC. L'objectif est de faire de la France le leader mondial dans les technologies de l'avion décarboné, en préparant la prochaine rupture technologique, en continuant à travailler sur la réduction de la consommation en carburant, la transition vers des alternatives neutres en carbone comme l'hydrogène ou encore l'électrification des appareils. Dès 2020, ce sont 62 nouveaux projets répartis sur 117 sites industriels qui ont été soutenus grâce au plan de relance, pour un total de 376 M€<sup>40</sup>.

Le ministre des transports a de plus annoncé fin octobre 2020 la création de la chaire Aviation & Climat entre l'Institut Pierre-Simon Laplace (COMUE Sorbonne Université, université Paris VI Pierre et Marie Curie) et l'ONERA, qui fera l'objet d'un soutien financier au travers du volet aéronautique du plan de relance<sup>41</sup>.

Cette chaire devrait analyser en toute indépendance les effets des traînées de condensation et élaborer les informations à mettre à disposition des compagnies aériennes pour qu'elles en tirent les bonnes pratiques en termes d'optimisation de trajectoire de leurs avions et de carburants à privilégier.

Dans son rapport transmis au Parlement européen<sup>42</sup> le 1<sup>er</sup> décembre 2020 sur les effets sur le climat de l'aviation non liés au CO<sub>2</sub>, la Commission a envisagé plusieurs mesures possibles pour les réduire.

---

<sup>37</sup> ETS-CORSIA "clean cut": The EU ETS would continue to apply to the current intra-EU/EFTA scope, as in option 2 above, and CORSIA would be introduced for extra-EU/EFTA flights, i.e. flights to and from EU/EFTA States (including their outermost regions) and third countries. In other words, the EU ETS would be applied as at present and CORSIA would be applied to all other flights (to the extent that CORSIA is applicable to them).

<sup>38</sup> ETS-CORSIA "mix": Regarding non-domestic intra-EU/EFTA flights, the EU ETS would apply up to each operator's 2020 emissions. Above the 2020 emissions, CORSIA would apply. Regarding flights between EU/EFTA States (including their outermost regions) and third countries, CORSIA would apply on emissions above 2020 levels. This option would cover domestic flights.

<sup>39</sup> Voir sur ce point les articles 72 et 73 de l'avis de l'autorité des transports : [https://www.autorite-transport.fr/wp-content/uploads/2021/01/version-publique\\_decision-2020-085\\_adl-tarifs-2021.pdf](https://www.autorite-transport.fr/wp-content/uploads/2021/01/version-publique_decision-2020-085_adl-tarifs-2021.pdf)

<sup>40</sup> Pour plus de précisions sur l'ensemble de ce paragraphe, le lecteur pourra se référer à : <https://www.ecologie.gouv.fr/france-relance-presentation-nouvelle-feuille-route-et-des-62-premiers-projets-construire-avions>

<sup>41</sup> <https://www.ecologie.gouv.fr/mobilisation-des-acteurs-laerien-acceler-vertissement-du-secteur-et-creation-dune-chaire-aviation>

<sup>42</sup> <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-13451-2020-INIT/en/pdf>

L'une d'entre elles consiste à modifier à moyen-terme (cinq à huit ans) les trajectoires des avions pour éviter les zones sursaturées en glace. Une recherche effectuée dans le cas du Japon semble montrer en effet que le déroutage vertical de quelques centaines de mètres d'une faible partie du trafic aérien (1,7 %) pourrait réduire nettement le forçage radiatif des traînées de condensation et des cirrus induits (d'environ 60 %) <sup>43</sup>. Une telle mesure n'est cependant envisageable que si la saturation du ciel le permet et si les émissions supplémentaires de carbone qui en résulteraient sont faibles (0,014 % dans le cas précédemment cité du ciel japonais). Une deuxième piste de solution, complémentaire de la précédente et étudiée dans le rapport de l'AESA <sup>44</sup> relatif aux incidences de l'aviation sur le climat qui ne sont pas liées au CO<sub>2</sub>, souligne l'intérêt d'améliorer la composition des carburants ainsi que l'efficacité des motorisations pour réduire le nombre de particules de suie sur lesquelles se forment les cristaux de glace : une réduction de 50 % des particules de suie émises pourrait ainsi réduire de 14 % le forçage radiatif des traînées de condensation et des cirrus induits <sup>45</sup>. Le recours à des moteurs avec un plus fort taux de dilution devrait y contribuer. La Commission a indiqué début décembre dans sa *Stratégie de mobilité durable et intelligente* qu'elle assurerait le suivi des mesures figurant dans ce rapport.

## 1.4 Evaluation et transparence

La participation de la société civile est devenue un processus quasi incontournable de la lutte contre le changement climatique, comme l'a montré le processus de négociation aboutissant à l'Accord de Paris. Le secteur de l'aviation pourrait bénéficier de ses analyses et de son regard sur les stratégies de décarbonation qu'elle envisage. En ce sens, la transparence, le partage d'un socle de connaissances consensuelles, et un dialogue anticipateur méritent d'être menés et pourraient passer par :

- un point annuel sur les émissions de gaz à effet de serre du secteur de l'aviation française et des aéroports et sur leurs réductions ; la DGAC publie déjà chaque année un bilan des émissions du transport aérien <sup>46</sup> ;
- la présentation des travaux scientifiques en cours sur la compréhension des effets de l'aviation sur le climat et de leurs incertitudes ;
- la présentation régulière de l'avancement et de l'évaluation des différentes actions de décarbonation du secteur.

## 1.5 Conclusion

À l'échelle nationale, l'aviation commerciale décollant depuis le territoire français consomme de l'ordre de huit millions de tonnes de kérosène et représente environ 4,6 % des émissions françaises tous secteurs confondus (lorsque sont prises en compte les émissions internationales de ce secteur). En admettant qu'avec les améliorations technologiques prévues, il soit possible, conformément aux hypothèses de la SNBC, de limiter cette consommation à moins de neuf millions de tonnes de kérosène

---

<sup>43</sup> *Mitigating the climate forcing of aircraft contrails by small-scale diversions and technology adoption*, Teoh, R., Schumann, U., Majumdar A., Stettler, M. E. J., Environmental Science and Technology, doi: 10.1021/acs.est.9b05608. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.9b05608>

<sup>44</sup> *Updated analysis of the non-CO<sub>2</sub> effects of aviation*, European Union Aviation Safety Agency (EASA), [https://ec.europa.eu/clima/news/updated-analysis-non-co2-effects-aviation\\_en](https://ec.europa.eu/clima/news/updated-analysis-non-co2-effects-aviation_en)

<sup>45</sup> L'article précise que cette réduction est moins importante dans des atmosphères déjà saturées en vapeur d'eau. *Contrail cirrus radiative forcing for future air traffic*, Lisa Bock and Ulrike Burkhardt, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen, Germany, <https://acp.copernicus.org/articles/19/8163/2019/acp-19-8163-2019.html>

<sup>46</sup> Le bilan 2019 figure sur le site suivant :

[https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/bilan\\_emissions\\_gazeuses\\_2019.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/bilan_emissions_gazeuses_2019.pdf)

d'ici 2050 et que la part des vols internationaux reste de l'ordre de 80 %, cela nécessiterait d'être en mesure de produire 3,6 millions de tonnes de carburants durables afin que leur proportion puisse atteindre 50 % dans le kérosène utilisé par l'ensemble des vols long-courriers. Une décarbonation totale nécessiterait le double. L'objectif est ambitieux. Il est néanmoins possible : en 2019, la France a ainsi incorporé 3,46 Mtep de biocarburants dans les véhicules terrestres. Cela montre tout l'enjeu de la création d'une filière française que la DGAC encourage. Cela pose aussi tout particulièrement la question de savoir si la France peut être en mesure d'être autonome pour assurer son besoin, sans faire appel à l'importation d'un carburant qui risque d'être rare et cher, et si, à terme, ainsi que l'envisage la stratégie de mobilité durable et intelligente publiée par la Commission européenne en décembre 2020, elle peut accorder une priorité à l'usage des biocarburants dans l'aérien. L'avion court courrier de demain, électrique ou à hydrogène, s'il participe aux 20 % d'économie de kérosène fossile, est nécessaire mais ne suffira pas à décarboner le secteur de l'aviation d'ici 2050. Tout doit donc être fait pour que cette filière française du biokérosène durable voie le jour.

Aucune des mesures citées ci-dessus ne suffit à elle seule. La décarbonation du transport aérien nécessite de mener de front la recherche et développement pour des avions ultra sobres (réduction de 30 % de la consommation par rapport aux meilleurs avions d'aujourd'hui) et des avions zéro-émissions qui bénéficieront des recherches faites sur l'ultra sobriété, le développement de la production de biocarburants durables, l'amélioration des trajectoires, etc.

## 2 La stratégie de décarbonation du secteur du transport maritime

La stratégie française de décarbonation et de réduction des émissions atmosphériques polluantes du secteur du transport maritime ne peut se concevoir que dans une perspective internationale et européenne tant pour des raisons de concurrence internationale que d'importance des trafics internationaux par rapport aux trafics domestiques : les éléments de réflexion élaborés ci-dessous tiennent donc compte des objectifs de l'OMI, de l'Union européenne ainsi que des éléments de stratégie publiés par d'autres pays comme le Royaume-Uni, le Japon, les Pays-Bas et la Norvège à titre de parangonnage.

De ce fait, la stratégie proposée peut être décrite en quatre parties :

- une première partie (2-1) cherche à identifier quelques principes généraux pouvant servir de guide dans cette transition ;
- une seconde partie (2-2) rappelle les mesures prises à l'OMI et la position française au sein de cette instance, institution spécialisée de l'ONU ;
- une troisième partie (2-3) aborde les engagements pris au niveau de l'Union européenne et les propositions françaises ;
- une quatrième partie (2-4) enfin aborde les mesures plus spécifiquement françaises.

Les travaux réalisés par le groupe d'accompagnement de la mission en vue de préciser la stratégie nationale ont vocation à prolonger les travaux menés dans le cadre de la SNBC et à préciser les grandes lignes d'une stratégie maritime de réduction des émissions atmosphériques polluantes et de décarbonation.

Cette stratégie comprend des liens étroits avec le financement de la R et D puisqu'une large partie des technologies restent à mettre au point. À cet égard, la mission rappelle qu'en 2018 a été établi un contrat stratégique de filière des industriels de la mer pour la période 2018-2022 qui comporte, dans sa feuille de route, la décarbonation de la propulsion et de l'énergie à bord comme l'un de ses trois projets prioritaires.

Il appartiendra aux parties prenantes du Cluster maritime français (CMF) (en s'appuyant sur les travaux de la coalition nationale pour la Transition éco-énergétique de la filière maritime (T2EM)), notamment à Armateurs de France pour le transport maritime et à celles du comité de filière des industriels de la mer d'affiner et de décliner ces éléments de stratégie pour les différents segments du maritime et du fluvial afin de parvenir à une feuille de route partagée entre les acteurs économiques et les pouvoirs publics. Celle-ci devrait donner lieu à la mise en place durant l'année 2021 d'un accord de compétitivité dans le cadre du Fontenoy maritime. Ce contrat devrait prendre, de plus, en compte les avancées résultant de la prochaine publication, prévue pour la fin du premier trimestre 2021, par la Commission européenne de son initiative *Fuel EU Maritime* destinée à développer les carburants alternatifs.

Les services d'escale des navires dans les ports (3-1), les secteurs de la pêche (3-2) et de la plaisance (3-3) sont traités dans le chapitre suivant : ils répondent à des problématiques très différentes dans la mesure où il ne s'agit pas d'activités de transport, mais ils émettent également des quantités non négligeables de gaz à effet de serre. Le secteur du transport fluvial sera abordé au chapitre 4.

## 2.1 Quelques principes généraux de décarbonation du transport maritime

### 2.1.1 Les objectifs de décarbonation du secteur du transport maritime

Même si l'Organisation maritime internationale, l'OMI, n'est pas directement engagée par l'Accord de Paris, le secteur maritime doit réduire ses émissions de gaz à effet de serre et aller vers la neutralité carbone aussi rapidement que possible : **l'adoption par l'OMI d'un objectif de réduction des émissions du secteur maritime international de 50 % en 2050 par rapport à 2008** marque ainsi un engagement significatif de la communauté internationale. À terme, cependant, comme toutes les Parties signataires de l'Accord de Paris<sup>47</sup>, le secteur maritime devra « [...] opérer des réductions rapidement par la suite [après l'atteinte du pic des émissions mondiales] conformément aux meilleures données scientifiques disponibles de façon à parvenir à un équilibre entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre au cours de la deuxième moitié du siècle, sur la base de l'équité, et dans le contexte du développement durable et de la lutte contre la pauvreté ».

**L'article 73 de la loi d'orientation des mobilités<sup>48</sup> fixe l'objectif d'atteindre, d'ici à 2050, la décarbonation complète du secteur des transports terrestres**, entendue sur le cycle carbone de l'énergie : elle s'applique en particulier au secteur du transport fluvial domestique (cf. chapitre 4). **La pêche, la plaisance et le transport maritime domestique relèvent quant à eux de l'article premier de la loi climat énergie<sup>49</sup> qui prévoit d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050** en divisant les émissions de gaz à effet de serre par un facteur supérieur à six, ce qui conduit à envisager une décarbonation quasi-totale des émissions énergétiques, en particulier de celles du transport, comme le montre la SNBC.

### 2.1.2 Le temps des expérimentations

**Il n'existe pas aujourd'hui de solution unique et universelle qui permettrait d'atteindre à la fois la neutralité carbone et la dépollution du secteur**, ce d'autant plus que la diversité des navires et de puissance de motorisation est très variable. Il apparaît cependant clairement que le *design* initial du navire (et dans une mesure moindre son *retrofit* pour la flotte existante), ainsi qu'une combinaison de mesures opérationnelles peuvent très fortement réduire les émissions de gaz à effet de serre. De plus, des systèmes de propulsion neutres en carbone sont envisageables, mais ils sont encore dans une phase de démonstration.

Une double priorité s'en déduit :

- **il est nécessaire d'une part de mener des expérimentations**, soutenues en partie par la puissance publique et par l'Union européenne, de mise en œuvre de systèmes de propulsion neutres en carbone ainsi que des technologies les plus prometteuses de décarbonation ;
- **dans la période de transition jusqu'à la neutralité carbone du maritime, il est nécessaire de faire les meilleurs efforts possibles** pour réduire les émissions correspondantes.

Ces efforts de décarbonation peuvent être déclinés suivant trois axes : les améliorations à la conception, les améliorations en exploitation et au port, et, enfin, le choix des motorisations et des carburants. Ils

---

<sup>47</sup> Article 4 de l'Accord de Paris :

[https://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/french\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/french_paris_agreement.pdf)

<sup>48</sup> Loi n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités :

<https://www.legifrance.gouv.fr/dossierlegislatif/JORFDOLE000037646678/>

<sup>49</sup> Loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat,

<https://circulaires.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000039355955/2021-01-13/>

doivent être accompagnés d'un certain nombre de mesures ou d'instruments économiques permettant de favoriser cette évolution et donnant, dans toute la mesure du possible, une visibilité sur le futur aux acteurs du secteur.

### 2.1.3 Le respect de la neutralité technologique

La stratégie maritime française portée par le Gouvernement **ne doit pas choisir une technologie en particulier, mais doit veiller à la mise en place d'objectifs de résultats** (éventuellement à un niveau international) **et de dispositifs d'accompagnement** permettant d'une part de favoriser le recours à des technologies et à des mesures opérationnelles de moins en moins émettrices, et d'autre part d'encourager l'innovation.

Cette stratégie doit cependant limiter les solutions qui pourraient conduire à des *stranded assets*<sup>50</sup>, autrement dit à des solutions qui ne permettraient pas d'atteindre les objectifs de réduction d'émissions envisagés.

### 2.1.4 Les améliorations à la conception

En matière de conception, l'OMI avait fixé des objectifs d'amélioration de l'efficacité énergétique des navires à la conception à atteindre. Constatant que les objectifs à atteindre en 2025 étaient déjà satisfaits, elle a décidé en 2018 de renforcer les exigences correspondantes pour un certain nombre de types de navires, les porte-conteneurs en particulier. Ainsi, l'amélioration de l'efficacité énergétique des navires à la conception devra atteindre 30 à 50 % selon le type et la taille des navires en 2022/2025 par rapport aux lignes de référence représentant l'efficacité énergétique moyenne entre 1999 et 2009.

Certaines de ces mesures peuvent également concerner les navires déjà en exploitation : CMA-CGM indique qu'un rétrofit conduisant à revoir le bulbe de la coque (avec une immobilisation d'une dizaine de jours) peut s'amortir, pour certains navires sur une durée de quelques années. *L'Energy Transitions Commission*<sup>51</sup>, s'appuyant sur des travaux du DNV GL, souligne que le *rétrofit* peut ainsi conduire à une amélioration de 15 % de l'efficacité énergétique.

### 2.1.5 Les mesures en exploitation et au port

Les mesures opérationnelles fixées par l'OMI constituent un second pilier extrêmement important : le *just in time*, l'électrification à quai, la réduction de la consommation du bord (froid, climatisation, appareillages, etc.), la réduction de vitesse, ainsi que l'optimisation de la conduite et des trajets des navires devraient pouvoir permettre une réduction d'au moins 20 %.

Le tableau ci-dessous extrait du quatrième rapport de l'OMI (figure 98) montre que, conjointement, les améliorations à la conception et en exploitation représenteraient un potentiel de réduction à 2050 de 36 % (pour un coût marginal d'abattement de 93 dollars par tonne de CO<sub>2</sub> évitée). Selon les calculs de l'OMI, certaines d'entre elles seraient même rentables<sup>52</sup> et correspondraient ainsi à une valeur négative

---

<sup>50</sup> Littéralement des actifs irrécupérables parce qu'obsolètes et non transformables.

<sup>51</sup> « *Some of these technologies could be retrofitted on the existing fleet – widening of container vessels, improving shape to reduce wave resistance or optimizing propellers – which is particularly important given the long lifetime of ships. Overall retrofitting could improve the energy efficiency of the existing fleet by 15%.* ». *Mission Possible: Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century: sectoral focus Shipping*, p. 9, The Energy Transitions commission, [https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2020/08/ETC-sectoral-focus-Shipping\\_final.pdf](https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2020/08/ETC-sectoral-focus-Shipping_final.pdf)

<sup>52</sup> Avec un taux d'intérêt de 4 % et un prix du carburant conventionnel (VLSFO) de 375 US \$/tonne pris comme référence, et deux calculs de sensibilité avec un prix du carburant réduit de 50 % ou doublé et un taux d'intérêt de 4 %. Les valeurs présentées dans le tableau correspondent au coût de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée : ainsi, pour réduire de 7,54 % les émissions de CO<sub>2</sub> du navire en recourant aux mesures de réduction de vitesse, il en coûtera 10 dollars par tonne de CO<sub>2</sub> évitée.

de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée. Dans l'ordre, les réductions attendues viennent de la réduction de vitesse<sup>53</sup> (7,54 %), de la maintenance du système propulsif (3,95 %), et de celle de la carène (3,90 %). Si, dans son rapport de 2018 sur la neutralité carbone du maritime à 2035, le Forum international des transports (FIT) envisage, dans une première variante de ses scénarios, une réduction limitée de la vitesse des navires (6 % pour les porte-conteneurs, 9 % pour les tankers et les vraquiers), il considère des chiffres nettement plus ambitieux dans une seconde variante avec des réductions atteignant 26 % pour les porte-conteneurs, 30 % pour les pétroliers et 65 % pour les vraquiers<sup>54</sup>.

---

<sup>53</sup> Dans le tableau, la réduction de vitesse correspond à une valeur d'abattement de la tonne de CO<sub>2</sub> positive. Ceci s'explique par le fait que pour maintenir un flux constant de marchandises, il est nécessaire d'utiliser des navires supplémentaires qui peuvent être déjà disponibles ou qui peuvent nécessiter de nouveaux investissements. Pour une réduction donnée de vitesse, le rapport de l'OMI (tableau 79) montre que la valeur de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée varie fortement en fonction à la fois du ratio de navires à construire par rapport aux navires supplémentaires à mettre en œuvre pour assurer le même flux de trafic (ce qui se traduit en dépenses supplémentaires d'investissement) ainsi que du prix des carburants.

<sup>54</sup> *Decarbonising Maritime Transport: Pathways to zero-carbon shipping by 2035*, IFT, 2018, « On the operational side, we consider speed reduction as a major measure that can reduce carbon intensity of ships. We consider two possible alternatives for implementing speed reduction: moderate and maximum speed reduction. Moderate speed reduction implies a reduction of 6% (for container ships) and 9% (for tankers and bulk carriers) of the standard operational speed for different ship types, which was assumed to be 12.8 knots for bulk carriers and tankers and 18.4 knots for container ships, in line with the study by Smith et al. (2016). In the case of maximum speed reduction, we consider a strong speed reduction that is technically possible, which is 26% (for container ships) and 30% (for tankers) and 65% (for bulk carriers) of the standard operational speed. Even though it is technically possible to attain such low operating speeds, navigators will prioritise safety and manoeuvrability, e.g. operating with higher speed in difficult weather conditions. Another operational measure that has been integrated in this modelling framework is optimised ship-berth planning. This relatively low-cost measure is aimed at reducing the waiting time of ships at port before berthing. According to our estimation, this measure could deliver around 1% reduction of the total CO<sub>2</sub> emissions. We assume that the operational measures, especially speed reductions, could be implemented from 2020 onwards to yield maximum potential by 2030, which would require decision making by 2018 ».

Code	Technology group	Conventional fuel price (% change from base price)			CO <sub>2</sub> abatement potential (%)
		-50%	0%	+100%	
		MAC (USD/tonne -CO <sub>2</sub> )			
Group 10	Optimization water flow hull openings	-57	-119	-243	3.00%
Group 3	Steam plant improvements	-49	-111	-235	2.13%
Group 6	Propeller maintenance	-40	-102	-226	3.95%
Group 9	Hull maintenance	-29	-91	-215	3.90%
Group 12	Reduced auxiliary power usage	3	-59	-183	0.71%
Group 8	Hull coating	12	-50	-174	2.55%
Group 2	Auxiliary systems	23	-39	-163	1.59%
Group 1	Main engine improvements	28	-34	-158	0.45%
Group 13	Wind power	64	2	-122	1.66%
Group 16	Speed reduction	72	10	-113	7.54%
Group 5	Propeller improvements	80	18	-106	2.40%
Group 11	Super light ship	116	54	-70	0.39%
Group 4	Waste heat recovery	116	54	-70	3.09%
Group 7	Air lubrication	155	93	-31	2.26%
Group 15B	Use of alternative fuel without carbons	478	416	292	64.08%
Group 14	Solar panels	1,110	1,048	924	0.30%
Group 15A	Use of alternative fuel with carbons	-	-	-	-

**Tableau 1** : Coûts de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> du secteur maritime<sup>55</sup>

## 2.1.6 La propulsion vélique

La propulsion des navires par le vent constitue un moyen de propulsion complémentaire (assistance vélique) et, sur certains marchés de niche, un moyen de propulsion principal. Neutre en carbone, cette propulsion permet de réduire sensiblement la consommation énergétique. Si dans le tableau ci-dessus, l'OMI considère qu'elle entraînerait une réduction moyenne sur l'ensemble des navires de 1,66 % à 2050<sup>56</sup>, le FIT envisage quant à lui des gains énergétiques pouvant aller jusqu'à 30 % : ceux-ci vont cependant naturellement dépendre de la taille du navire, de sa vitesse, de son trajet ... Plusieurs technologies sont en cours d'expérimentation : kites, voiles-aires ou voile rigide (éventuellement avec gréements à balestron), voile souple, profil aspiré, rotor, turbine, qui verront le jour en France en 2021. Deux obstacles principaux doivent être levés pour en favoriser le développement : le manque d'informations fiables sur les performances, l'opérabilité, la sécurité, la durabilité et les répercussions économiques des technologies de propulsion par le vent ainsi que la difficulté d'accès au capital pour le développement des technologies, en particulier lors des phases de construction et des tests de démonstrateurs à grande échelle. Le marché n'est pas encore assez développé pour permettre un volume de production industrielle, mais la France possède des atouts et des technologies, principalement issues de la course au large et du nautisme, pour se positionner sur ce marché naissant à fort potentiel<sup>57</sup>. Il est à noter que en 2050, les propulsions à base de fiouls fossiles ne sont plus envisagées. Des indications utiles relatives aux perspectives de ce mode de propulsion figurent dans le rapport établi par Franck Cammas<sup>58</sup> au titre de l'article 185 de la LOM.

<sup>55</sup> Source OMI : Ce tableau montre par exemple que pour un prix de référence du fioul lourd de 55 \$/l, un prix du carbone de 50 euros rendrait rentables les actions listées dans les onze premières lignes du tableau pour une réduction de 27 % environ et permettrait de réduire ainsi d'autant les émissions de gaz à effet de serre du secteur. La rubrique du groupe 15 B comprend l'hydrogène (produit par électrolyse), ses dérivés (l'ammoniac, le méthane, le méthanol et l'éthanol) ainsi que les carburants issus de la biomasse (méthane, méthanol, éthanol). Le quatrième rapport de l'OMI retient pour la fabrication des gaz de synthèse du CO<sub>2</sub> capté dans les émissions provenant de combustions ou directement dans l'air.

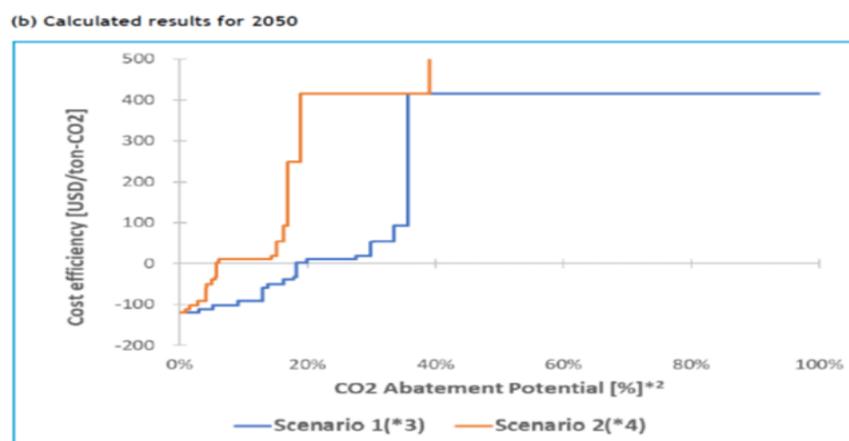
<sup>56</sup> L'association Windship a précisé que l'assistance vélique associée au routage météo et à une réduction de la vitesse permettent de gagner au minimum 5 à 10 % des émissions de CO<sub>2</sub> (cf exemple du Maersk Pelican).

<sup>57</sup> De premiers navires devraient voir le jour en France à partir de 2021 pour Louis Dreyfus Armateurs, Alizés, Neoline ou TOWT. Ailleurs en Europe certains armateurs tels que Maersk, Viking ou Scandline naviguent déjà grâce à la puissance du vent. L'Asie et l'Amérique du Nord se positionnent également sur ce nouveau marché. K-Line, un armateur japonais, s'est d'ailleurs engagé avec la société française Airseas.

<sup>58</sup> *Développement d'une filière de transport maritime à voile*, Rapport référencé CGEDD n° 13343-01 et IGAM n° 2020-066 établi par Franck Cammas avec le concours de Denis Mehnert (IGAM) et d'Antoine Pichon (CGEDD) – Octobre 2020

## 2.1.7 Les systèmes de propulsion neutres en carbone

Cependant, pour aller au-delà, le recours à un système propulsif utilisant des carburants neutres en carbone ou des dispositifs de capture et stockage du carbone (permettant de se rapprocher de la neutralité carbone) s'impose. Le rapport du Lloyd's Register et de l'UMAS<sup>59</sup>, paru au premier trimestre 2020, envisage des navires à zéro émission à 2030 et étudie 21 solutions différentes pour répondre à ce besoin : là encore, il n'y a pas donc pas de solution unique. Les solutions employées différeront suivant le type de navire considéré et suivant le rythme de maturité économique des nouvelles filières de production de combustibles et de maturation des technologies de motorisation associée pour les différents types de navires considérés. Elles sont rapidement évoquées ci-dessous et présentées de manière plus complète en annexe 5.



**Figure 8** : Courbe du coût marginal de réduction des émissions de CO<sub>2</sub><sup>60</sup> selon deux scénarios de décarbonation

Dans son quatrième rapport, l'OMI présente le graphique (p 277) reproduit ci-dessus montrant qu'en 2050, dans les hypothèses retenues, les mesures d'efficacité énergétique à la conception et en service permettraient de réduire de 36 % les émissions, tandis que des carburants neutres en carbone rendraient possibles des réductions allant jusqu'à 100 % pour un coût marginal de réduction de 416 \$/tCO<sub>2</sub> évitée.

Deux technologies permettant de se rapprocher de la neutralité carbone apparaissent cependant extrêmement prometteuses et mériteraient d'être fortement encouragées :

- **le recours au GNL équipé d'un dispositif de capture et de stockage du CO<sub>2</sub>** pour les navires les plus importants. Cette technologie permettrait de conserver les motorisations existantes ainsi que les chaînes d'approvisionnement en gaz naturel. Elle est envisagée notamment dans la stratégie japonaise et devrait être expérimentée par une compagnie maritime japonaise<sup>61</sup>.

De plus, réunis au sein de l'*Oil and Gas Climate Initiative* (OGCI), douze géants pétroliers et gaziers, dont Saudi Aramco, ExxonMobil, Chevron et Total, ont annoncé en juillet 2020 leur intention de réduire collectivement "l'intensité carbone" de leurs activités de production : ce

<sup>59</sup> *Techno-economic assessment of zero-carbon fuels*, Lloyd's Register et UMAS, March 2020, <https://www.lr.org/en/insights/global-marine-trends-2030/techno-economic-assessment-of-zero-carbon-fuels/>

<sup>60</sup> Source, OMI, Fourth IMO GHG Study, <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>

<sup>61</sup> <https://www.journalmarinemarchande.eu/filinfo/k-line-va-deployer-a-bord-un-demonstrateur-de-captage-de-co2>

qui devrait se traduire dans le domaine du maritime par une expérimentation de capture et stockage du carbone sur un navire. Les études menées dans le cadre du projet CO<sub>2</sub>ASTS<sup>62</sup> et portant sur trois types de navires (un bateau de navigation intérieure, une drague de 7600 kW, un paquebot de croisière de 36 MW) conduisent à un coût de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée<sup>63</sup> compris entre 100 et 300 €/tCO<sub>2</sub> et montrent que cette technologie pourrait être envisagée pour de nombreux navires sans être limitée aux seuls navires de très grande taille. L'installation de ce dispositif à bord d'un navire utilisant le GNL comme carburant permet de bénéficier d'une source froide pour la liquéfaction du CO<sub>2</sub> et de la chaleur de la combustion pour la régénération du solvant ;

- **le recours à l'électricité pour les bateaux et navires effectuant des courts trajets** (*short sea shipping, ferries*, navires de service) ou ceux pouvant effectuer des arrêts réguliers pour se recharger. Compte tenu du faible contenu en carbone de l'électricité française, cette technologie permet en effet d'atteindre une quasi-neutralité carbone<sup>64</sup> dès aujourd'hui.

Ces deux techniques ne sont pas cependant pas encore dans une phase de déploiement industriel :

- **le CCS ( Carbon Capture and Storage), déjà expérimenté dans l'industrie, doit être adapté aux navires** et pourrait, si son intérêt économique est confirmé, équiper non seulement les navires neufs, mais également les navires existants à travers des opérations de rétrofit. Le CO<sub>2</sub> ainsi obtenu à bord des navires pourrait être soit transporté et stocké dans des couches géologiques, notamment au large de la Norvège pour l'Union européenne<sup>65</sup>, soit réutilisé, notamment dans la fabrication de carburants synthétiques (à condition de trouver le modèle économique correspondant). Un navire équipé d'un dispositif de capture et stockage de CO<sub>2</sub> et utilisant du biogaz pourrait conduire à des émissions négatives, mais devrait probablement bénéficier d'un prix élevé du CO<sub>2</sub> pour constituer un investissement rentable ;
- **les standards de recharge dans l'électrique (plus de 1 MWe) pour des engins de forte puissance sont en cours de développement** (principalement pour les poids lourds) : une autre solution pour des navires de petite taille sur des trajets courts consiste à placer la batterie (ou le réservoir d'hydrogène) dans des conteneurs qu'il suffit de changer à l'escale.

**L'hydrogène** (fabriqué à partir de l'électrolyse de l'eau ou par vaporeformage en liaison avec la capture et le stockage du CO<sub>2</sub>) pourrait également conduire à des solutions se rapprochant de la neutralité carbone. **Son volume, son utilisation sous forme d'hydrogène liquide, les conditions de sécurité à respecter et son coût conduisent cependant à des réticences de la part des armateurs.** De plus, la technologie des piles à combustible doit encore progresser pour qu'elle puisse être utilisée dans des navires de grande taille (puissance limitée, durée de vie de quelques milliers d'heures ...). L'utilisation de l'hydrogène pourrait également reposer sur le développement de motorisations thermiques : cette combustion entraînera cependant le rejet de NO<sub>x</sub> qui devront être captés (autant une PAC ne rejette que de l'eau, autant un moteur thermique à hydrogène ou ammoniac va conduire à la formation de NO<sub>x</sub>).

Dès lors que son coût de production sera compétitif, l'hydrogène pourrait cependant trouver sa place d'abord pour des navires de service ou pour les navires effectuant de courts trajets. Le développement en France de solutions à hydrogène liquide suppose cependant le développement en parallèle d'infrastructures d'avitaillement, la maîtrise parfaite de l'hydrogène à bord, et la mise au point de

---

<sup>62</sup> CO<sub>2</sub>ASTS – carbon capture, storage and transfer in shipping : A technical and economic feasibility study, Public Concise Report, Juliana Monteiro, Research Scientist at TNO, <https://www.conoship.com/wp-content/uploads/2020/06/200513-CO2ASTS-Public-Concise-Report.pdf>

<sup>63</sup> Ce coût correspond à la capture et stockage à bord du navire mais ne comprend pas de coût soit pour le stockage en couche géologique, soit pour sa réutilisation.

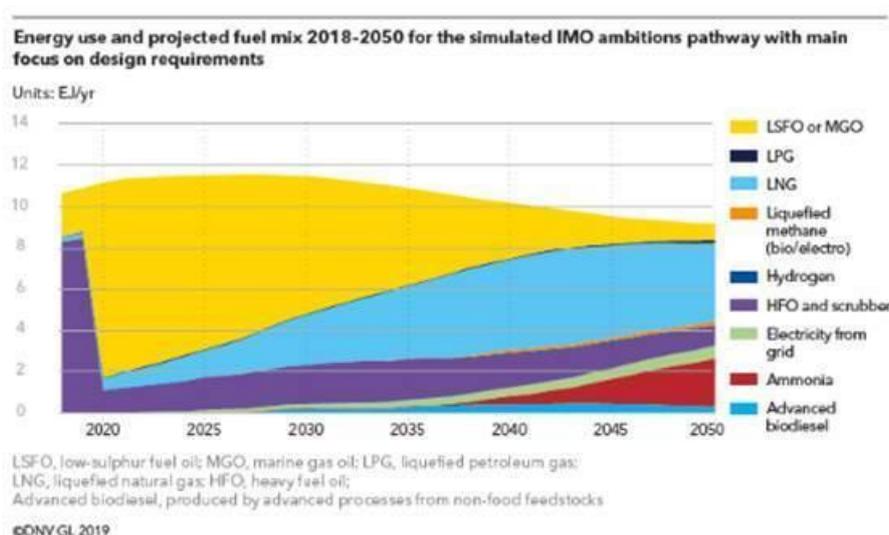
<sup>64</sup> Il faut néanmoins compter les émissions de CO<sub>2</sub> associées à la fabrication de la batterie.

<sup>65</sup> Voir notamment le projet Northern lights mené par Equinor <https://www.equinor.com/en/what-we-do/northern-lights.html>

moteurs adaptés et/ou de PAC.

L'évaluation économique menée notamment par la Lloyd's et l'UMAS montre que **la solution ammoniac, fabriqué à partir d'hydrogène neutre en carbone** mais dont la combustion nécessite un traitement des oxydes d'azote et dont la toxicité réclame la mise en place de dispositifs de sécurité adaptés, **serait moins onéreuse que la solution hydrogène**. L'UMAS envisage ainsi que l'ammoniac puisse représenter 75 % à 99 % de la part du marché de l'énergie dans le transport maritime à 2050 suivant le scénario considéré (objectifs de l'OMI à 2050 ou scénario 1,5 °C) : la solution de l'ammoniac est cependant très peu explorée en France actuellement, alors que la Grande Bretagne semble beaucoup miser sur cette solution à partir de 2030.

Dans un scénario de réduction par deux des émissions à 2050, présenté dans le cadre de ses prévisions à 2050, le DNV-GL envisage que les navires mis en service à partir de 2040 seront tous neutres en carbone : l'ammoniac se développe dès lors fortement à partir de cette date et représente environ 25 % de l'énergie consommée en 2050, tandis que la part du GNL fossile décroît à partir de 2040.



**Figure 9** : Consommation et mix énergétiques 2018 – 2050 répondant aux objectifs à 2050 de la feuille de route de l'OMI<sup>66</sup>

À titre indicatif, le quatrième rapport de l'OMI propose les coûts futurs en 2030 et en 2050 présentés ci-dessous pour différents types de combustibles (neutres ou non en carbone) : ces coûts comprennent notamment pour le GNL un coût additionnel à celui du carburant seul pour tenir compte des coûts supplémentaires de logistique et de soutage :

<sup>66</sup> Source : DNV-GL, Maritime forecast to 2050, Energy transition outlook 2019 <https://www.dnvgl.com/Publications/energy-transition-outlook-2019-162874>

Table 76 - Future costs fuel at 2030 and 2050

Fuels	Year	
	2030	2050
HFO (VLSFO)	375	375 (9USD/GJ)
LNG	590	590 (12USD/GJ)
Hydrogen	3,300	3,300 (28USD/GJ)
Ammonia	660	660 (32USD/GJ)
Methanol	400	400 (20USD/GJ)
Ethanol	670	670 (25USD/GJ)
Synthetic methane	-	4,500 (90USD/GJ)
Biomass methane	-	2,250 (45USD/GJ)
Synthetic methanol	-	1,500 (75USD/GJ)
Biomass methanol	-	800 (40USD/GJ)

Tableau 2 : Coût des carburants à 2030 et 2050<sup>67</sup>

Le recours au gaz naturel semble la solution la plus simple à court terme et a donc été choisi par un certain nombre d'armateurs<sup>68</sup> : il permet en effet, pour un surcoût modéré, de répondre aux objectifs classiques de dépollution. Il peut également conduire à une réduction des émissions des gaz à effet de serre pouvant atteindre 20 %, si les phénomènes de *methane slip* sont pris en compte dès le choix du type de moteur (ou conduisent à équiper les navires existants de dispositifs permettant de les réduire<sup>69</sup>) : il pourrait donc être logique d'imposer lors de la conception aux navires utilisant le gaz naturel de recourir à des motorisations permettant de réduire ce phénomène.

**À moyen terme, l'utilisation du gaz naturel d'origine fossile ne permettra pas d'atteindre les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre : dans son *World energy outlook de 2019*, l'Agence internationale de l'énergie considère que le recours au gaz naturel dans le secteur maritime risque de conduire à des *stranded assets* (actifs irrécupérables : autrement dit à des navires qui, compte tenu des objectifs renforcés de réduction des émissions de GES, pourraient ne plus être utilisables à partir d'une certaine date). À cet horizon, le recours au gaz naturel n'est donc valable que dans la mesure où il permet de réduire très fortement les émissions de gaz à effet de serre sous peine pour les armateurs de se retrouver avec des navires qui ne répondraient pas aux normes d'émissions futures.**

<sup>67</sup> Source : OMI, *Fourth IMO GHG Study*, <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>

<sup>68</sup> Les armateurs français ont déjà deux dragues GNL en opération, trois RO-Pax de grande capacité en construction, 26 porte-conteneurs dont certains de très grande capacité (23.000 EVP), un paquebot de croisière brise-glace et une entreprise française s'est engagée à affréter à temps six tankers. Une grande proportion de ces navires a adopté le pavillon français.

<sup>69</sup> Alfa Laval et WINGD ont récemment communiqué sur la mise au point d'un dispositif de recirculation des gaz de combustion réduisant de moitié ces émissions. MAN a annoncé un dispositif similaire. <https://www.alfalaval.com/contentassets/fa6a219e48214213ae966df529b33a2b/wkr0006.pdf>

Quatre solutions sont cependant possibles :

- le recours au biogaz: mais sa disponibilité restera limitée<sup>70</sup>, son coût de production à partir de la biomasse dans des méthaniseurs est trois à quatre fois plus élevé que le coût d'importation du gaz naturel fossile (cf. tableau n° 2 ), et sa production n'est pour le moment développée que dans quelques pays européens. Le biogaz peut également être produit par pyrogazéification du bois, autrement dit par transformation du bois en gaz sous l'effet de la chaleur et en l'absence d'oxygène. Cette technique au stade de l'expérimentation devrait permettre d'augmenter la production de biogaz possible, même si son coût paraît aujourd'hui élevé. Dans les deux cas, le biogaz ainsi produit pourrait, moyennant un coût supplémentaire, être liquéfié<sup>71</sup> et transporté jusqu'à des stations de distribution ;
- le méthane de synthèse : le méthane peut enfin être produit sous forme de gaz naturel de synthèse, en fabriquant de l'hydrogène par électrolyse de l'eau puis, dans un second temps, en lui adjoignant du CO<sub>2</sub>. Cette technique est cependant a priori plus coûteuse que la méthanisation ;
- l'utilisation de moteurs flexibles permettant dans le futur de basculer vers des carburants plus proches de la neutralité carbone, notamment l'ammoniac. Des études sont en cours pour valider la compatibilité des cuves de GNL, type C (entièrement pressurisées <sup>72</sup>) ou à membrane<sup>73</sup>, pour l'ammoniac. La transformation d'un moteur à gaz en moteur à ammoniac devrait être possible : son intérêt économique dépendra du prix des carburants. Elle présente un gain énergétique : l'ammoniac devient liquide à la pression atmosphérique à - 33,5 °C tandis que le gaz naturel doit être refroidi à - 162 °C. Le réemploi des cuves pour l'ammoniac conduit à une réduction de l'autonomie du navire, la densité énergétique de l'ammoniac étant 1,8 fois moindre que celle du GNL. En revanche, elle évite l'installation de nouvelles cuves, qui seraient nécessaires pour stocker le CO<sub>2</sub> dans la mise en œuvre d'une solution de capture à bord ;
- l'utilisation de dispositifs de capture et de stockage du gaz carbonique à bord des navires.

Les avantages et les inconvénients de ces quatre solutions doivent être comparés et leurs coûts doivent être précisés à travers un certain nombre d'expérimentations : leurs conséquences sur le design des navires sont différentes. Dans la mesure où l'une de ces solutions pourrait être effectivement mise en place dès la conception des nouveaux navires et à des conditions raisonnables de coût, le gaz pourrait donc constituer une solution se rapprochant de la neutralité carbone. L'article 6 du décret approuvant la PPE <sup>74</sup> a d'ailleurs retenu comme objectif le déploiement dans tous les grands ports <sup>75</sup>

---

<sup>70</sup> L'article 71 de la loi d'orientation des mobilités, en prévoyant un complément de rémunération adapté à la production de gaz à l'écart des réseaux actuels de distribution, devrait également contribuer au développement de cette ressource.

<sup>71</sup> Un démonstrateur industriel de liquéfaction de biogaz de la société Cryopur a fonctionné quelques mois sur le site de Valenton, exploité par Suez. Ce démonstrateur a été un succès et a permis à la société française Cryopur d'exporter deux usines de liquéfaction du biogaz : une en Irlande en fonctionnement depuis 2018, la seconde en Norvège, en cours de construction. Air Liquide produit et exporte des installations de liquéfaction en Europe. On peut également citer plusieurs start-up françaises comme Azzola ou Sublime Energie qui développent des solutions originales et innovantes de liquéfaction du biogaz.

<sup>72</sup> « Les citernes de type "C" sont normalement des réservoirs pressurisés, sphériques ou cylindriques, avec des pressions de conception supérieures à 4 bars ».

[https://www.isgintt.org/files/documents/Chapter\\_33fr\\_isgintt\\_062010.pdf](https://www.isgintt.org/files/documents/Chapter_33fr_isgintt_062010.pdf)

<sup>73</sup> Voir notamment <https://www.gtt.fr/fr/applications/lng-brick>

<sup>74</sup> Décret n° 2020-456 du 21 avril 2020 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie  
<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041814432/>

<sup>75</sup> Certains ports comme Bordeaux ou Nantes Saint-Nazaire offrent déjà un service de ce type à partir de citernes routières (truck-to-ship) tandis que le GPM de Marseille accueillera fin 2021 un navire avitailleur pour des opérations en bord à bord. Les terminaux méthaniers existants sur les 3 façades maritimes (Fos, Montoir de Bretagne et Dunkerque) offrent à cette fin de grandes capacités de stockage.

d'infrastructures de recharge ou de ravitaillement ouvertes au public pour le GNL maritime avant le 31 décembre 2023. En parallèle, si la capture à bord du CO<sub>2</sub> se développait, l'étude du stockage de CO<sub>2</sub> liquide dans les ports devrait être menée.

**Le recours aux biocarburants** (y compris sous forme de méthanol) peut également présenter de l'intérêt, notamment en période de transition en attendant les solutions totalement décarbonées, car ils permettent, à coût modéré pour certains, de continuer à opérer les navires existants en répondant aux objectifs de l'OMI avant le renouvellement de leurs flottes. Mais, compte-tenu de leur « relative rareté » et des compétitions d'usage associées, il est difficile de considérer, sauf dans quelques cas particuliers, les biocarburants comme la solution principale à long terme pour le transport maritime (même si la Lloyd's Register et l'UMAS soulignent leur intérêt en termes de coût).

Les e-fiouls peuvent être produits en grande quantité, mais leur coût est pour le moment élevé (cf. tableau n° 2) et leur production nécessite la disponibilité de fortes quantités de CO<sub>2</sub>, ne provenant pas d'énergies fossiles.

Si certains segments peuvent trouver une solution spécifique, - ainsi en est-il du biodiesel (moins volumineux que le biogaz) pour la pêche hauturière (qui est également confrontée à des questions de limitation de jauge) -, les pistes pour les navires intermédiaires sont donc encore incertaines, ce qui peut conduire à envisager pour les nouveaux navires des motorisations (voire une architecture d'ensemble) adaptables dans le futur à des carburants se rapprochant de la neutralité carbone : un motoriste propose déjà des moteurs qui permettraient de brûler aujourd'hui des hydrocarbures classiques (y compris des biocarburants et des e-fiouls), mais aussi d'incorporer demain en plus ou moins grande quantité de l'ammoniac ou de l'hydrogène ... La mise en place de tels moteurs qualifiés par certains de « couteaux suisses », devrait permettre à l'armateur correspondant d'être certain qu'il ne met pas en service un futur *stranded asset* autrement dit un actif qui ne serait plus utilisable demain dans un monde neutre en carbone ; elle devrait dans une phase de démarrage être accompagnée par des aides de l'État afin de compenser une partie de la différence entre le prix d'un moteur n'utilisant qu'un type de carburant et celui d'un moteur « couteau suisse ». **La constitution d'un retour d'expérience sur le fonctionnement de ces moteurs, et plus généralement sur l'utilisation de bi-carburations, sera donc un point extrêmement précieux pour les armateurs.**

**Le recours à ces carburants propres sera probablement plus coûteux dans un premier temps : l'amélioration de l'efficacité énergétique à la conception et en exploitation restent donc absolument nécessaires.** En 2017, l'OMI a adopté un objectif de diminution de l'intensité des émissions en carbone des navires de 40 % en 2030 et de 70 % en 2050 : cet objectif doit rester une priorité.

## 2.1.8 Les signaux économiques dans le secteur du transport maritime

La transition vers la neutralité carbone suppose la mise en place d'un certain nombre de signaux dans l'économie qui sont présentés de manière succincte ci-dessous et de façon plus détaillée en annexe 6. Les initiatives individuelles et les démarches volontaires et de labellisation qui permettent de l'initier se heurtent en effet à un certain nombre de défaillances de marché que sont notamment l'absence d'internalisation des dommages causés par les émissions de gaz à effet de serre, la myopie à l'égard du long terme dans les décisions d'investissements (conduisant par exemple à mettre en service des navires dont le fonctionnement pourrait être restreint, voire interdit dans un monde neutre en carbone), une information imparfaite et asymétrique, pourtant nécessaire dans une période d'évolution rapide des technologies, les inconvénients liés au renforcement des normes à la conception qui peut conduire les armateurs à anticiper leurs commandes juste avant l'échéance et à s'équiper de navires plus polluants et moins coûteux pour éviter les surcoûts correspondants.

Plusieurs pistes de solutions sont cependant possibles :

- la première d'entre elles consiste à introduire dans l'économie un signal prix associé à l'externalité carbone et à annoncer sa trajectoire longterm à l'avance de façon que tous les acteurs puissent l'anticiper. Ce signal prix peut être direct sous forme de taxe ou de marché de quotas, ou indirect sous forme de normes ou d'imposition d'un taux d'incorporation de biocarburants dont le coût correspond à ce signal-prix ;
- la deuxième solution consiste en l'intervention de la puissance publique à travers des mécanismes de subventions, y compris des mécanismes de partage du risque : la Banque des territoires intervient par exemple en prenant à sa charge une partie du risque correspondant à une absence de croissance du nombre d'usagers utilisant les bornes de recharges électriques dans les parkings des copropriétés ;
- la troisième solution mise en avant par le FIT consiste à fixer des objectifs de décarbonation à long terme du secteur. Il donne un cap à tous les acteurs, encourage l'innovation et récompense les acteurs qui sauront les développer ;
- la mise en place de subventions et le renforcement concomitant des normes portant sur les navires en exploitation permettent d'éviter les conséquences défavorables des normes à la conception, lorsque celles-ci conduisent certains armateurs à anticiper la mise en application de normes plus sévères et à prolonger l'utilisation des navires anciens plus polluants.

Les travaux économiques menés par le Lloyd's Register et l'UMAS montrent que pour les catégories de navires considérées, toutes les variantes envisagées sont nettement plus onéreuses que l'utilisation du fioul lourd et que, pour atteindre un équilibre économique, la valeur de la tonne carbone correspondante devrait être très élevée. Ceci conduit donc d'un point de vue économique à privilégier dans une première phase de développement des dispositifs d'accompagnement économique pour mettre au point les solutions technologiques, à fixer des objectifs de décarbonation longterm à l'avance pour donner de la visibilité aux industriels et à mettre en place, si possible au niveau mondial, un signal prix carbone permettant de favoriser les solutions bas carbone (même s'il est insuffisant à court-moyen terme pour conduire à un basculement de technologies), sous forme soit de taxes sur le carburant ou d'incorporation des activités concernées dans le marché ETS, soit de normes de réduction des émissions, dont le coût correspond au signal prix envisagé.

Le FIT souligne enfin qu'il n'existe pas une mesure unique permettant d'atteindre la neutralité carbone et que la transition pour y arriver doit reposer sur un paquet de mesures, dont certaines doivent être adoptées à une échelle internationale (voire européenne), mais dont d'autres peuvent relever du niveau national. Il insiste également sur l'idée que la neutralité carbone du secteur ne pourra être atteinte que grâce à la mise en service de navires zéro-carbone.

## 2.2 Les engagements de l'OMI et les propositions françaises au sein de l'OMI

L'OMI qui s'était beaucoup concentrée sur la sécurité des navires et sur la réduction des pollutions par les hydrocarbures a commencé à s'intéresser au sujet des émissions de gaz à effet de serre et des autres émissions atmosphériques polluantes à la fin des années 1990, puisqu'une annexe spécifique à la convention Marpol a été ajoutée en 1997.

### 2.2.1 Les émissions de gaz à effet de serre

L'OMI a produit quatre rapports sur ces émissions, le premier en 2000 où il était rappelé que le transport maritime international contribuait à 1,8 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> en 1996, le

second en 2009 où il était rappelé que ce secteur contribuait en 2007 à 2,7 % avec 880 Mt CO<sub>2</sub> émises, le troisième en 2014 qui donnait en moyenne pour la période 2007-2012 3,1 % des émissions dont 846 Mt pour la flotte internationale et 1015 Mt pour l'ensemble du *shipping*. La quatrième étude publiée en juillet dernier, fournit des données plus précises à la fois sur l'ensemble des émissions de GES et explore une autre méthodologie de répartition des émissions entre trafic international et domestique (basée sur le type de voyages et plus seulement sur la taille des navires). Elle est également la première à fournir des estimations de l'intensité carbone (taux d'émissions relatives à la capacité ou à la tonne transportée) de la flotte mondiale. Cette étude souligne que les émissions de gaz à effet de serre du transport maritime international ont diminué de plus de 20 % en intensité, mais ont continué, en valeur absolue, à augmenter, d'environ 9 % de 2012 à 2018.

**Table 1 – Total shipping and voyage-based and vessel-based international shipping CO<sub>2</sub> emissions 2012-2018 (million tonnes)**

Year	Global anthropogenic CO <sub>2</sub> emissions	Total shipping CO <sub>2</sub>	Total shipping as a percentage of global	Voyage-based International shipping CO <sub>2</sub>	Voyage-based International shipping as a percentage of global	Vessel-based International shipping CO <sub>2</sub>	Vessel-based International shipping as a percentage of global
2012	34,793	962	2.76%	701	2.01%	848	2.44%
2013	34,959	957	2.74%	684	1.96%	837	2.39%
2014	35,225	964	2.74%	681	1.93%	846	2.37%
2015	35,239	991	2.81%	700	1.99%	859	2.44%
2016	35,380	1,026	2.90%	727	2.05%	894	2.53%
2017	35,810	1,064	2.97%	746	2.08%	929	2.59%
2018	36,573	1,056	2.89%	740	2.02%	919	2.51%

**Tableau 3 : Emissions mondiales de CO<sub>2</sub> du maritime (domestique et international) de 2012 à 2018<sup>76</sup>**

Les premières études de l'OMI avaient montré qu'en l'absence de mesures, les émissions de gaz à effet de serre du secteur maritime international pouvaient croître d'ici 2050, de manière importante, (de 50 à 250 % selon les scénarios étudiés dans la troisième étude de 2014). Ces fourchettes ont été nettement resserrées dans la quatrième étude (de -10 % à +30 % en 2050 par rapport à 2008 selon les scénarios étudiés) mais les émissions restent orientées à la hausse contrairement aux objectifs de l'Accord de Paris. L'OMI a donc adopté successivement plusieurs séries de mesures depuis 2010 :

- en 2011, une série de mesures relatives à l'efficacité énergétique des navires au titre de l'annexe VI de la convention Marpol) avec des spécifications obligatoires pour les nouveaux navires dans une approche phasée dans le temps entre 2013 et 2025 en intensité de réduction et par type de navire grâce à l'EEDI (*Energy Efficiency Design Index*), assortie de l'obligation d'un plan de gestion énergétique (*SEEMP Ship Energy Efficiency Management Plan*) applicable à tous les navires ;
- en 2016 un système obligatoire de collecte de données (*Data Collection System*) sur la consommation de carburants des navires applicable à tous les navires de jauge supérieure à 5000 tonneaux (UMS) au 1er Janvier 2019 ;
- en 2018, une stratégie initiale de réduction des GES avec trois objectifs :
  - a) un renforcement des objectifs de l'EEDI pour tous les navires neufs allant au-delà de ce qui était envisagé en 2013 et destiné à être précisé d'ici 2023 : l'index d'efficacité énergétique des navires neufs EEDI comporte actuellement trois phases 0 (2013-2014) – 1 (2015-2019) – 2

<sup>76</sup> Source : OMI, *Fourth IMO GHG Study*, <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>

(2020-2024) - 3 (après 2025). Chaque phase correspond à un renforcement de l'obligation d'amélioration du rendement énergétique pour ces navires lors de leur mise en service (1-10 % / 2-20 % / 3-30 %). Les amendements adoptés au MEPC 75 modifient la phase 3 en la décomposant en phase 3-1 et 3-2. La phase 3-1 permet d'avancer cette phase au 01/04/2022 pour certaines catégories de navires (transporteurs de gaz, cargo et porte-conteneurs). Pour les porte-conteneurs les objectifs de la phase 3 sont par ailleurs renforcés pour atteindre jusqu'à -50 % pour les plus gros navires. La phase 3-2 s'appliquera aux autres navires à la date initialement prévue de 2025, et en conservant l'obligation de -30 % pour les plus grands ;

b) la réduction de l'intensité carbone (émissions de CO<sub>2</sub> par activité de transport) de la flotte internationale d'au moins 40 % à l'horizon 2030, en poursuivant l'action menée en vue d'atteindre 70 % à l'horizon 2050, par rapport à 2008 ;

c) la réduction de 50 % de l'ensemble des GES du transport maritime international à l'horizon 2050 par rapport à 2008, tout en visant leur élimination totale le plus tôt possible avant la fin du siècle, afin de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> conformément aux objectifs de température fixés dans l'Accord de Paris.

Les mesures pour y parvenir sont déclinées en trois horizons : court terme, avec un aboutissement des négociations en 2023 de façon à obtenir une stratégie révisée en 2023 ; moyen terme, avant 2030 ; long terme, au-delà de 2030.

## 2.2.2 Les autres émissions atmosphériques

Adoptée en 1997 et entrée en vigueur en 2005, l'annexe VI de Marpol vise à limiter les émissions de SO<sub>x</sub> et de NO<sub>x</sub> des navires, interdit l'émission de substances destructrices de la couche d'ozone et régule l'incinération à bord et les émissions de composés organiques volatils des pétroliers (COV).

Lors de son entrée en vigueur, les mesures prévues dans l'annexe ont été renforcées dans les conditions suivantes :

- réduction de la teneur en soufre des carburants de 4,50 % jusqu'en 2012, à 3,50 % jusqu'en 2019 et à 0,50 % à partir de 2020 ;
- réduction plus forte dans quatre zones déclarées : 1,50 % jusque fin juin 2010 ; 1 % du 1er juillet 2010 à fin 2014 ; 0,1 % depuis le 1er janvier 2015 ; les quatre zones déclarées sont la Baltique et la mer du Nord (zones SECA<sup>77</sup>) avec une régulation limitée aux SO<sub>x</sub> tandis que les deux autres zones Nord-américaine et USA/Caraïbes (zones ECA) limitent à la fois les SO<sub>x</sub> et les NO<sub>x</sub>, mais pas les particules fines : celles-ci ont bien été en partie réduites avec les limitations SO<sub>x</sub> mais sans qu'un plafond ne soit spécifié.

## 2.2.3 Les propositions françaises au sein de l'OMI et du PNUE

Par rapport à la stratégie OMI sur les GES, la France avait d'abord défendu l'option de réduire la vitesse des navires qui offre un gain immédiat en termes de réduction de consommation énergétique et de GES mais cette option n'a pas prévalu.

Dès lors, la France a monté avec le Danemark, rejoints ensuite par l'Allemagne, une autre option qui consistait à viser une approche opérationnelle de réduction de l'intensité carbone en laissant le soin aux armateurs de déterminer la meilleure combinaison pour y parvenir et sachant que l'obligation de rapportage introduite en 2019 fournissait aux États la possibilité effective de vérifier si ces engagements opérationnels étaient respectés.

---

<sup>77</sup> La mer du Nord et la Baltique sont devenues une zone NECA (ECA NO<sub>x</sub>) au 1er janvier 2021.

Les négociations conduites au sein de l'OMI depuis 2018 ont cependant conduit à l'approbation au MEPC 75 en vue de l'adoption au MEPC 76 d'une combinaison de cette option avec la proposition japonaise, moins ambitieuse qui prévoit pour les plus grands navires, représentant plus de 80 % des émissions de gaz à effet de serre du transport maritime international, et avec la proposition chinoise de classement (*ranking*) des navires :

- la mise en place obligatoire d'une certification de l'efficacité énergétique des navires existants (EEXI : *Energy Efficiency eXisting ship Index*) associée à des mesures techniques (comme la limitation de puissance) qui réduisent et plafonnent à partir de 2023 l'empreinte CO<sub>2</sub> de chaque navire existant au-delà de 400 tonneaux de jauge (UMS);
- un système de mesure de l'intensité carbone des navires (CII : *Carbon Intensity Indicator*) permettant de classer annuellement les navires en fonction de leurs performances réelles, des catégories A (faible intensité carbone) à E (forte intensité carbone), avec des exigences croissantes d'année en année. Ce système permettra aux États, aux financeurs et aux chargeurs de mettre en place des mécanismes d'incitation de type bonus-malus.

De tels objectifs devraient conduire naturellement les navires existants à s'engager dans des opérations de rétrofit s'ils en voient l'intérêt économique.

Les premières modélisations de ces mesures semblent cependant montrer que le gain de réduction des émissions de gaz à effet de serre de ces mesures serait extrêmement faible entre 2020 et 2030 : en simulant leurs effets sur les pétroliers, les vraquiers et les porte-conteneurs, qui représentent plus de 50 % des émissions du secteur maritime international, un document de travail publié début novembre 2020 par l'International Council on clean transportation, ICCT<sup>78</sup>, montre que la mise en œuvre de ces mesures apporterait en 2030 un gain de 0,7 à 1,3 % des émissions. Selon les auteurs de l'étude, ce résultat proviendrait d'un mauvais calibrage des mesures proposées qui ne feraient qu'entériner les réductions de vitesse déjà pratiquées.

Les autres propositions concernent la délimitation de nouvelles zones ECA : l'adoption de la déclaration d'une zone ECA en Méditerranée limitée aux SO<sub>x</sub> a été actée sur le principe, conformément à l'initiative française, lors de la COPMED 21 tenue à Naples sous l'égide du programme des Nations-Unies pour l'environnement (PNUE), les 2-5 décembre 2019. Des discussions et l'élaboration d'études complémentaires sont en cours avec les vingt autres États méditerranéens et la Commission européenne qui assure la coordination de la négociation au sein de la conférence de Barcelone (la compétence juridique de l'Union européenne étant reconnue sur les SO<sub>x</sub>). Un accord est visé permettant le dépôt de la proposition à l'OMI au printemps 2022 à l'OMI ; à plus long terme, une proposition de même nature pourrait aussi voir le jour pour le golfe de Gascogne puisque la zone ECA Mer du Nord s'interrompt au Nord de la Bretagne. Elles seront décrites plus complètement au 2-4-2-.

De plus la question du financement de la R et D nécessaire à l'accélération des adaptations du système propulsif aux nouveaux combustibles décarbonés ou neutres en carbone a fait l'objet d'une proposition conjointe à l'OMI<sup>79</sup> émanant de huit entités dont *the Baltic and International Maritime Council* (BIMCO), *the Cruise Lines International Association* (CLIA), *the International Chamber of Shipping* (ICS), *the International Association of Dry Cargo Shipowners* (INTERCARGO), INTERFERRY, *the International Association of Independent Tanker Owners* (INTERTANKO), *the International Parcel Tankers Association* (IPTA), and *the World Shipping Council* (WSC). Cette proposition déposée en décembre 2019 vise à organiser la gouvernance et la création d'un fonds de R et D placé auprès de l'OMI qui pourrait collecter

---

<sup>78</sup> *Potential CO<sub>2</sub> reductions under the Energy Efficiency Existing Ship Index*, Dan Rutherford, Ph.D., Xiaoli Mao, and Bryan Comer, Ph.D., November 2020, <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Marine-EEXI-nov2020.pdf>

<sup>79</sup> *REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS, Proposal to establish an International Maritime Research and Development Board (IMRB)* Submitted by BIMCO, CLIA, ICS, INTERCARGO, INTERFERRY, INTERTANKO, IPTA, and WSC, december 2019, [https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2019/12/MEPC-Reduction-og-GHG-emissions-from-ships-Proposal-to-establish-an-International-Maritime-Research-and-Development-Board-IMRB-2019\\_12.pdf](https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2019/12/MEPC-Reduction-og-GHG-emissions-from-ships-Proposal-to-establish-an-International-Maritime-Research-and-Development-Board-IMRB-2019_12.pdf)

2 USD par tonne de fioul, ce qui conduirait à un total d'environ cinq milliards de dollars sur une dizaine d'années. La faisabilité d'un tel dispositif au niveau de l'OMI est évidemment très complexe et mérite d'être étudiée si bien que la position française à ce sujet n'est pas négative, compte tenu de ce que cette proposition répond à un réel besoin mais la gestion opérationnelle d'un tel dispositif reste encore à démontrer. Elle permettrait en effet de favoriser le développement de nouveaux navires neutres en carbone, mais elle ne peut intervenir qu'en complément de mesures plus ambitieuses : en prenant des émissions de CO<sub>2</sub> d'environ trois tonnes par tonne de fioul brûlé, la valeur correspondante du CO<sub>2</sub> serait de moins d'un euro par tonne de CO<sub>2</sub> émise.

## 2.3 Les engagements de l'UE et la position française au sein de l'Union européenne

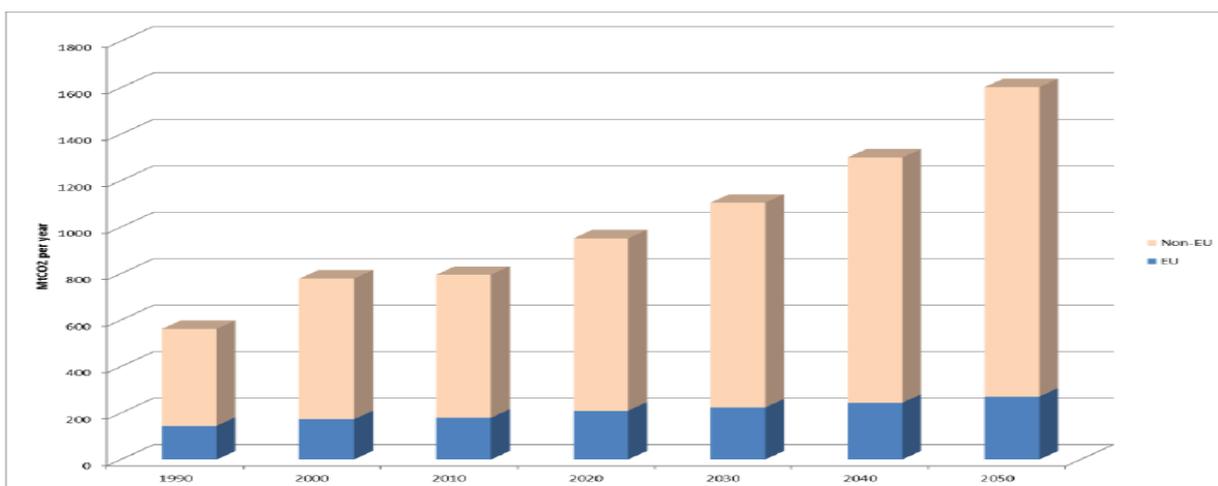
Si l'OMI régit les règles maritimes internationales en matière de transport maritime (sécurité, sauvegarde de la vie humaine, protection de l'environnement marin, émissions atmosphériques...), le rôle et le poids de l'Union européenne sont fondamentaux au regard des compétences qui lui sont conférées par les traités dans les domaines des transports, du climat, de l'énergie, de l'environnement au moins pour deux raisons :

- son rôle normatif au sein de l'Union européenne voire de l'Espace économique européen au regard des compétences précitées, sachant qu'il arrive qu'il peut y avoir des chevauchements, voire des conflits de compétences entre l'OMI et l'UE (infrastructures, proposition d'alignement du règlement MRV sur les lignes directrices de l'OMI...);
- son poids financier résultant des budgets alloués aux différentes politiques qu'elle mène avec les États membres. Les financements européens constituent pour les opérateurs français, un des outils de mise en œuvre efficace de ces politiques. Mais, dans un secteur intrinsèquement international comme le transport maritime, fortement concurrentiel, les leviers de l'UE pour ces États membres et opérateurs résident également dans les politiques de soutien au titre de la fiscalité ou des aides d'État (infra).

Dès 2013, l'UE a adopté une communication<sup>80</sup> visant à intégrer le transport maritime dans ses politiques de réduction de gaz à effet de serre. Le point de départ de cette position résulte de ce que les mesures décidées alors au plan international à l'OMI lui apparaissaient insuffisantes comme en témoigne la projection suivante où même si la part relative des émissions européennes par rapport aux émissions mondiales tendra à se réduire, l'augmentation absolue pourrait dépasser 100 % entre 1990 et 2050.

---

<sup>80</sup> COM (2013) 479 : Communication de la Commission « prise en compte des émissions du secteur des transports maritimes dans les mesures de réduction des gaz à effet de serre de l'Union », <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0479:FIN:FR:PDF>



Estimated CO<sub>2</sub> emissions from maritime transport (EU related<sup>84</sup> and globally<sup>5</sup>, considering EEDI)

**Figure 10 :** Estimation des émissions de CO<sub>2</sub> du transport maritime (au niveau de l'UE et au niveau mondial, compte-tenu de l'EEDI)<sup>81</sup>

La stratégie retenue en 2013 est graduelle :

- mise en place d'un système MRV (*Monitoring-Reporting-Verify* ; surveillance-déclaration-vérification), donc d'un système rigoureux de suivi des émissions sur une base déclarative des armateurs vérifiable ;
- objectif de réduction des GES compatible avec le Livre Blanc de 2011 sur les transports en assignant au transport maritime international un objectif de réduction des GES de 40 % en 2050, voire de 50 % ;
- mise en place des instruments de marché appropriés avec trois pistes : la mise en place d'un fonds de compensation sur la base de contributions volontaires, un fond de compensation avec objectif et un système d'échange de quotas d'émission (ETS ou SEQE).

Plus récemment, **la présidence de l'UE a adopté le 11 décembre 2019<sup>82</sup>** le pacte vert (*green deal*) qui préconise d'accélérer le processus de réduction des GES en fixant un objectif global de réduction d'au moins 50 % et tendant vers 55 % en 2030 (par rapport à 1990) pour aboutir à la neutralité carbone en 2050 et qui prévoit de réexaminer d'ici 2021 l'ensemble des instruments de la politique climatique européenne y compris les mesures ayant trait à la tarification du carbone. Cet objectif a été renforcé en décembre 2020, lors de son sommet ; le **Conseil européen a en effet approuvé un objectif contraignant consistant en une réduction nette des émissions de gaz à effet de serre dans l'UE d'au moins 55 % d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 1990.**

**Enfin, la Commission a publié le 9 décembre 2020 sa stratégie de mobilité durable et intelligente.** Elle y souligne notamment que le secteur maritime doit avoir un accès prioritaire à des carburants liquides et gazeux renouvelables et à faible teneur en carbone, faute de systèmes de propulsion alternatifs appropriés à court terme et que l'initiative *Fuel EU Maritime* stimulera la production et l'adoption de carburants maritimes durables. Elle se fixe comme ambition de parvenir en 2030 à la commercialisation de navires de haute mer « zéro émission ». Elle indique que le système

<sup>81</sup> Source : COM (2013) 479 : Communication de la Commission « prise en compte des émissions du secteur des transports maritimes dans les mesures de réduction des gaz à effet de serre de l'Union », <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0479:FIN:FR:PDF>

<sup>82</sup> COM (2019) 640 final- Communication de la commission au Parlement Européen, au Conseil Européen, au comité économique et social et au comité des régions - Le pacte vert pour l'Europe

d'échange de quotas d'émission de l'UE (SEQUE de l'UE) est l'instrument le plus important de la tarification du carbone pour internaliser le coût des émissions de CO<sub>2</sub> et confirme qu'elle proposera d'étendre le SEQUE de l'UE au secteur du transport maritime. Elle se donne également pour ambition d'augmenter le transport par voies navigables intérieures et le transport maritime à courte distance de 25 % d'ici à 2030 et de 50 % d'ici à 2050.

En matière de transport maritime, trois sujets sont donc prégnants :

- la mise en œuvre du système MRV ;
- l'application du système d'échange des quotas d'émission (SEQUE) aux émissions internationales du transport maritime ;
- la place du transport maritime décarboné dans les politiques et programmes financiers européens pour la période 2021/2027 et notamment dans le programme de R et D Horizon Europe 2021/2027, s'agissant notamment des carburants alternatifs.

Sur le premier sujet, la mission a eu connaissance par l'agence européenne de sécurité maritime (AESM) des légères différences existant entre le système géré par l'OMI et celui géré par l'AESM pour la surveillance, la déclaration et la vérification des données en matière d'émissions du secteur, qui portent principalement sur le déclarant, le vérificateur et la confidentialité des données d'émission, qui figurent dans les rubriques en rouge du tableau ci-dessous. Le récent rapport annuel de la Commission relatif aux émissions de CO<sub>2</sub> du transport maritime est le premier du genre depuis l'adoption en 2015 du règlement relatif à la surveillance, la vérification et la déclaration des émissions de CO<sub>2</sub> du secteur du transport maritime (MRV)<sup>83</sup>.

	EU MRV Regulation	IMO DC System
<b>Monitoring</b>	Ships above 5000 GT Voyages to/from & between EU Monitoring Plan (MP) 1 <sup>st</sup> January 2018	Ships 5000 GT and above All International Voyages SEEMP 1 <sup>st</sup> January 2019
<b>First monitoring period</b>	2018	2019
<b>Reporting responsibility</b>	Company responsible on 31 Dec	Flag responsible for effective period
<b>Reporting</b>	Fuel consumption and CO <sub>2</sub> Distance travelled Time spent at sea Cargo carried Transport work - Distance × Cargo	Fuel consumption (CO <sub>2</sub> derived) Distance travelled Hours under way DWT (deadweight) Transport work proxy - Distance × DWT
<b>Verification</b>	Independent Accredited Verifiers	Flag Administrations or ROs
<b>Reports to</b>	European Commission & Flag State	Flag Administrations
<b>Certification</b>	Document of Compliance (DoC)	Statement of Compliance (SoC)
<b>Publication</b>	Distinctive - ship specific database	Anonymous - aggregated ship database
<b>Disclosure</b>	Public	Confidential (Parties access/analysis)

**Tableau 4** : tableau comparatif des systèmes MRC EU et OMI élaboré par l'AESM pour les besoins de la mission

Sur le second sujet, relatif à l'application du système d'échange des quotas d'émission (SEQUE) aux émissions internationales du transport maritime, la position exprimée par Armateurs de France et relayée au niveau européen de l'ECSA est la suivante :

- « Concernant le mécanisme spéculatif : Armateurs de France a exprimé sa réticence à un mécanisme

<sup>83</sup> Règlement 2015/757 du PE et du Conseil du 29 avril 2015 concernant la surveillance, la déclaration et la vérification des émissions de dioxyde de carbone du secteur du transport maritime et modifiant la directive 2009/16/CE.

*de type spéculatif non adapté aux compétences et aux besoins du secteur, qui aurait pour conséquence d'augmenter l'écart de compétitivité entre armateurs européens et internationaux d'une part mais également entre armateurs européens. Armateurs de France a rappelé le manque de visibilité généré par ce mécanisme, notamment en matière de tramping. C'est pourquoi Armateurs de France a suggéré que l'ETS ne puisse être envisagé que comme l'une des mesures à n'utiliser que par défaut et si d'autres mesures n'étaient pas mises en œuvre par les compagnies maritimes pour lutter pour leur décarbonation. Armateurs de France a invité les membres de l'ECSCA à réfléchir à cet arsenal de mesures supplétives ;*

- *Concernant le périmètre d'application de l'ETS : Armateurs de France a rappelé la nécessité de légiférer à l'échelle internationale et non régionale. Dans ce cadre, Armateurs de France a porté le message qu'un périmètre intra-UE semble être plus approprié dans l'attente d'un alignement sur de futures dispositions internationales. De plus, Armateurs de France a rappelé le risque de rétorsions de concurrence possibles, notamment avec la Chine.*
- *Concernant les revenus générés par un éventuel ETS : Armateurs de France a exprimé la vue selon laquelle l'ensemble des revenus générés par un ETS régional devront être réalloués au secteur. D'autre part, la nécessité de faire mention expresse d'un « fonds » de manière claire dans les lignes directrices a été abordée. »*

En ce qui concerne le troisième sujet, concernant la place du transport maritime décarboné dans les politiques et programmes financiers européens pour la période 2021/2027, si le programme Horizon 2021-2027, qui remplace Horizon 2020 est en cours de finalisation, en revanche la Commission européenne vient de publier l'appel à projets *Horizon 2020 Green Deal*. Doté d'un budget de 983 millions d'euros, cet appel comprend 20 thématiques dont l'une concerne en particulier les ports. La date limite de soumission des projets est fixée au 26 janvier 2021. Enfin, la Commission devrait publier dans les mois qui viennent son initiative, appelée *Fuel EU Maritime*, destinée à favoriser le déploiement des carburants alternatifs dans le domaine maritime.

## 2.4 Les engagements nationaux

### 2.4.1 La réduction des GES du transport maritime

Dans le contexte international de l'OMI et dans le contexte européen décrits précédemment, une stratégie française adaptée au transport maritime est indissociable de ses composantes internationale et européenne. Elle pourrait reposer sur les éléments présentés ci-dessous. La présidence française du Conseil de l'Union européenne au premier semestre 2022 devrait permettre de les faire avancer au niveau européen.

#### 2.4.1.1 L'amélioration de l'efficacité énergétique

Les objectifs français d'amélioration de l'efficacité énergétique des navires à la construction devraient être alignés sur ceux de l'OMI pour permettre une concurrence équitable.

#### 2.4.1.2 La réduction des émissions en exploitation

Les objectifs français de réduction des émissions en exploitation pourraient être conformes à ceux qui seront arrêtés par l'OMI pour la période au-delà de 2023 ou par l'Union européenne. Le 16 septembre, le Parlement européen a voté en séance plénière une résolution stipulant que : « *Les compagnies [maritimes] réduisent de manière linéaire les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> par activité de transport d'au moins 40 % d'ici à 2030, en moyenne pour tous les navires relevant de leur responsabilité, par rapport aux performances moyennes par catégorie de navires de même taille et type communiquées au titre du présent règlement* ». De tels objectifs devraient conduire naturellement les navires existants à s'engager dans des opérations de *rétrofit* s'ils en voient l'intérêt économique, par exemple si une amélioration de

la coque ou une assistance vélique offrent une rentabilité suffisante.

#### *2.4.1.3 L'adoption d'objectifs de neutralité carbone des systèmes de propulsion*

Au-delà des objectifs d'amélioration de l'efficacité énergétique des navires à la construction et de réduction des émissions en exploitation résultant des dispositions internationales, la neutralité carbone impose de recourir, à partir d'une date fixée, à des systèmes de propulsion très fortement décarbonés ou neutres en carbone. En l'absence de solution unique et universelle qui permettrait d'atteindre à la fois la neutralité carbone et la dépollution du secteur, les cinq prochaines années doivent permettre d'expérimenter les différentes technologies possibles en permettant aux chantiers navals français de maîtriser les innovations correspondantes.

La question majeure à se poser consiste à se demander comment favoriser l'émergence des solutions neutres en carbone tant que leur coût reste significativement plus élevé que celui des solutions carbonées et comment éviter (si l'on passe dans un système fortement réglementé pour accélérer la transition vers ce type de solution) de rendre obsolètes les investissements réalisés dans des techniques transitoires. Enfin comment, tout en favorisant l'émergence de ces solutions, respecter des règles de concurrence équitables entre armateurs, sachant que ceux-ci auront nécessairement opté pour des solutions technologiques différentes puisqu'il n'existe pas de solution unique et que la maturité des différentes solutions sera aussi différente ?

La réponse à cette question devrait pouvoir s'articuler avec trois composantes, une composante normative, une composante incitative et une composante correspondant à la mise en place d'un signal prix carbone. Cette dernière peut être internalisée dans les normes mises en place ou peut-être explicite.

Compte tenu de la nature des différentes navigations, il est possible de concevoir un système différent sur les navigations domestique et internationale, en étant plus ambitieux sur les navigations domestiques puisque les solutions électriques seront plus aisées à mettre en œuvre sur de courtes distances (il va de soi que les navigations entre la métropole et les départements d'outre-mer même si elles relèvent de logique de navigation domestique seraient assujetties aux obligations internationales) :

- pour la navigation domestique, il pourrait être imposé que tous les navires neufs soient neutres en carbone à l'horizon 2035 ;
- pour la navigation internationale, une telle obligation doit être négociée au niveau international ou européen et un horizon 2040 pourrait être un objectif de négociation : dans sa Stratégie de mobilité durable et intelligente parue début décembre 2020, la Commission a retenu comme objectif la mise sur le marché de navires zéro émission à partir de 2030.

#### *2.4.1.4 L'engagement d'une réflexion pour prévenir les stranded assets*

Il n'est pas impossible que dans le futur, l'OMI prenne la décision de n'autoriser que la navigation de navires neutres en carbone en 2050, 2060 ou 2070. Dans ce cas, la durée de vie d'un navire mis en service quelques années auparavant et continuant à utiliser des hydrocarbures d'origine fossile serait trop faible pour en permettre la rentabilité. Il est donc souhaitable que les navires mis en service 25 à 30 ans avant cette date puissent respecter cette neutralité carbone.

Le Royaume-Uni envisage ainsi une neutralité carbone du secteur maritime dans son ensemble à 2050 ce qui veut dire que l'ensemble des navires à cette date devront pouvoir utiliser un système de propulsion neutre en carbone. Dans cette perspective, et compte tenu de la durée de vie des navires, la sous-secrétaire d'État britannique en charge du transport maritime, lors de la présentation en juillet

2019 du *Clean Maritime Plan* britannique<sup>84</sup>, a indiqué que tous les nouveaux navires exploités dans les eaux britanniques commandés à partir de 2025 devraient avoir la capacité<sup>85</sup> de naviguer avec des technologies zéro émissions (en gardant cependant une motorisation thermique).

Les armateurs norvégiens se sont engagés à ne plus commander que des navires neutres en carbone à partir de 2030<sup>86</sup>.

Dans ces conditions, la mission considère à ce stade que le Gouvernement pourrait engager une réflexion avec les parties prenantes du secteur pour :

- préciser la notion de navire capable de naviguer avec des technologies zéro émissions ;
- examiner l'intérêt de fixer une date à partir de laquelle tout nouveau navire exploité dans les eaux européennes devrait être capable de naviguer avec des technologies zéro émissions ;
- examiner, avec les Britanniques, les moyens de satisfaire à l'obligation pour tout navire commandé à partir de 2025 et naviguant dans les eaux britanniques de naviguer avec des technologies zéro émissions.

La date de 2025 est très proche alors que les solutions techniques ne sont pas encore au point. Le choix d'une date précise pourrait être donc plus tardif et différer entre le niveau domestique et le niveau international ou européen.

Dans cette perspective, la constitution d'un retour d'expérience sur le fonctionnement de ces moteurs, et plus généralement sur l'utilisation de bi-carburations constituera un point extrêmement précieux pour les armateurs.

#### *2.4.1.5 La mise en place d'incitations économiques*

Même s'il existe de nombreux candidats, aucune solution de système de propulsion neutre en carbone ne semble s'imposer aujourd'hui : il est donc souhaitable d'encourager l'expérimentation des différentes solutions possibles. Les mécanismes incitatifs d'accompagnement des armateurs dans cette transition écologique vers des navires équipés soit de systèmes de propulsion neutres en carbone, soit de dispositifs de capture et de stockage du gaz carbonique, peuvent prendre deux formes :

- soit celle d'une aide à l'investissement notamment dans le cadre du PIA pour de tels navires jusqu'à la date retenue pour transformer l'incitation en obligation. Ce dispositif d'aides devrait permettre de favoriser à court terme l'expérimentation de nouvelles technologies (GNL avec CCS, motorisation thermique pour l'ammoniac et l'hydrogène, motorisations adaptatives, propulsion électrique à batteries ...). Une aide plus importante serait allouée aux navires qui viseraient directement la neutralité carbone ;
- soit celle d'une aide de nature fiscale, de type suramortissement en prolongeant les dispositions actuelles sur l'ensemble de la période de transition.

On peut rappeler à ce sujet :

- a) que les armateurs disposent en France pour faciliter la transition énergétique et écologique de trois leviers :

---

<sup>84</sup> [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/815664/clean-maritime-plan.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/815664/clean-maritime-plan.pdf)

<sup>85</sup> « By 2025 we expect that all new vessels being ordered for use in UK waters are being designed with zero emission propulsion capability ». Clean maritime plan, page 1.

<sup>86</sup> [https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2020/05/Norwegian-shipowners-Association-Zero-emissions-in-2050-00\\_05.pdf](https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2020/05/Norwegian-shipowners-Association-Zero-emissions-in-2050-00_05.pdf)

- le leasing fiscal de l'article 39 C du CGI, au sens d'amortissement de l'acquisition du navire ;
- l'option de choisir la taxe au tonnage au lieu de l'IS (impôt sur les sociétés), prévue par l'article 209-0B du CGI (BOI-IS-BASE-60-40-10-20150701) ;
- les exonérations de charges sociales ;
- b) que lors de la séance du groupe d'accompagnement consacrée à ce sujet, Armateurs de France a préconisé :
  - l'optimisation et l'élargissement des bases fiscales actuelles ;
  - la mise en place d'un plan d'épargne maritime ouvert aux particuliers ;
  - la poursuite de la démarche relative à la flotte stratégique pérennisant la flotte de commerce française à long terme et actualisant la loi de 1992 sur l'approvisionnement en produits pétroliers ;
  - la voie du rétablissement des fonds propres des armements selon deux des voies explorées par le CSMM<sup>87</sup> : réduction de huit à six ans de la durée d'amortissement et mise en place d'un fonds de garantie.

Le Gouvernement veillera ainsi à ce que les chantiers navals puissent rester à la pointe du développement des technologies nécessaires à la réussite de la transition énergétique, en prenant en compte des conditions de compétition équitables pour la construction des navires neufs, ainsi que pour les *rétrofits*, et en favorisant la prise-en-compte d'une approche multi-critères environnementaux, notamment d'analyse du cycle de vie (ACV) des navires, aussi bien pour les démonstrateurs innovants que pour les constructions commerciales.

Enfin, troisième forme d'action, l'État peut soutenir et encourager les démarches volontaires mises en place par les acteurs pour s'engager dans la transition énergétique : en obtenant par exemple le label *Green marine Europe*<sup>88</sup>, les armateurs s'inscrivent dans une démarche durable d'amélioration continue de la performance environnementale du transport maritime.

#### 2.4.1.6 La mise en place d'un signal-prix carbone

La mise en place d'un signal prix carbone permet de déclencher la mise en œuvre d'un certain nombre de mesures de réduction des émissions de GES et de réduire l'écart de coût entre solutions carbonées et solutions décarbonées ou neutres en carbone.

En reprenant le tableau 76 du quatrième rapport de l'OMI (reproduit au paragraphe 2.1.7), qui donne des ordres de grandeur possible du coût des carburants aux horizons 2030 et 2050, on s'aperçoit d'une part que la mise en place progressive d'un signal prix carbone croissant dans le temps permet de déclencher la mise en œuvre d'un nombre croissant de mesures de réduction des émissions et que la solution carbonée actuelle désulfurée HFO (LSFDO) reste la moins coûteuse. Il est donc souhaitable d'introduire un signal prix pour réduire l'écart de coût entre cette solution et plus généralement entre

<sup>87</sup> CSMM- Conclusions du groupe de travail sur le financement du renouvellement de la flotte marchande- rapporteur Fernand Bozzoni- 24 octobre 2018

<sup>88</sup> Le *Green Marine Europe* est un programme volontaire de certification environnementale pour l'industrie maritime européenne. Il est né en 2020 et est l'adaptation du label Nord-américain Green Marine (ou « Alliance Verte »). Les premiers lauréats du label, tous français, ont été dévoilés à Paris, le 8 octobre 2020 ainsi que leurs résultats reflétant l'année d'opérations 2019. Pour l'instant GME n'est ouvert qu'aux armateurs européens, l'adaptation aux autres acteurs maritimes se fera dans un second temps. Les critères actuels du label GME sont les suivants : bruit sous-marin ; émissions atmosphériques polluantes NOx ; émissions atmosphériques polluantes SOx et particules fines ; émissions de gaz à effet de serre ; espèces aquatiques envahissantes ; gestion de matières résiduelles ; rejets huileux. Le programme 2021 pour l'année d'opérations 2020 intégrera un nouveau critère relatif au recyclage des navires. [https://green-marine.org/wp-content/uploads/2020/10/GME\\_CP\\_Label\\_8oct-VERSION\\_FINALE\\_FR.pdf](https://green-marine.org/wp-content/uploads/2020/10/GME_CP_Label_8oct-VERSION_FINALE_FR.pdf)

les solutions carbonées (qui comprennent le GNL) et les solutions décarbonées ou neutres en carbone (qui comprennent le GNL avec capture et stockage du CO<sub>2</sub> et le biogaz).

Le système européen d'échange de quotas d'émission (SEQE) existe depuis 2005 : il couvre plusieurs secteurs industriels, dont le secteur aérien depuis 2012 pour les vols dans l'espace économique européen (EEE). La présidence européenne a décidé d'en élargir le champ au secteur maritime. En septembre 2020, la Commission a en particulier proposé de l'appliquer au moins au transport maritime intracommunautaire<sup>89</sup>. L'extension de ce dispositif au transport maritime international, comme le propose le Parlement européen, pose cependant la question de la compétitivité des navires concernés et mériterait d'être discutée avec les principaux partenaires commerciaux de l'Union européenne, la Chine et les États-Unis notamment, mais aussi le Royaume-Uni, afin de trouver le meilleur moyen de conserver un *level playing field* entre tous les acteurs : la prise en compte du transport maritime dans un mécanisme d'ajustement à la frontière ou des accords sur la manière d'appliquer le signal prix carbone à des navires transitant d'une zone économique à une autre seront ainsi étudiés. Armateurs de France (AdF), en liaison avec l'association des armateurs européens, l'ECSA<sup>90</sup>, plaide pour l'utilisation de mesures alternatives fondées sur le marché (MBM ou *Market Based Measures*) plutôt que sur le recours à l'ETS et insiste également sur le champ d'application géographique de ce dispositif qui devrait, selon lui, être limité afin d'éviter des tensions politiques, qui pourraient entraîner des différends commerciaux et des mesures discriminatoires à l'encontre des navires de l'UE par d'autres juridictions. Il suggère enfin d'en « aligner » le fonctionnement sur le mécanisme de l'OMI une fois celui-ci mis en place.

Il est bon de rappeler ici ce qui a été mentionné au paragraphe 2-3, à savoir qu'AdF préconise, si des recettes sont issues de ce mécanisme, qu'elles puissent être réaffectées au secteur maritime : le Parlement européen a ainsi proposé en septembre qu'une partie des recettes soit utilisée pour créer un fonds pour les océans pour la période 2021-2030 afin :

- d'améliorer l'efficacité énergétique des navires ;
- de soutenir les investissements dans les technologies et les infrastructures innovantes permettant de décarboner le secteur du transport maritime, y compris dans le transport maritime à courte distance et dans les ports ;
- de favoriser le déploiement de carburants de substitution durables, tels que l'hydrogène et l'ammoniac, produits à partir de sources d'énergie renouvelables, et de technologies de propulsion à émissions nulles, y compris les technologies éoliennes.

#### 2.4.1.7 Le renforcement de l'activité de réglementation technique et de normalisation

Si la propulsion GNL a fait l'objet d'un intense travail ces dernières années aboutissant à la publication du code IGF, de guides ou de recommandations des sociétés de classification les plus importantes, et de la norme ISO 20519 relative aux spécifications pour l'avitaillement des navires fonctionnant au gaz, un travail comparable reste à accomplir pour les autres modes de propulsion : il existe aujourd'hui des directives intérimaires comme l'IGF pour le méthanol, mais de telles directives n'existent ni pour l'ammoniac, ni pour l'hydrogène, ce qui constitue un frein à leur développement.

#### 2.4.1.8 L'accès à l'information

Le Gouvernement soutiendra les initiatives favorisant l'accès à l'information de tous les acteurs

---

<sup>89</sup> COM 2020/562 final- 19/09/2020-Communication de la commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions ; « Accroître les ambitions de l'Europe en matière de climat pour 2030- Investir dans un avenir neutre vis-à-vis du climat pour le bénéfice de ses habitants »

<sup>90</sup> L'ECSA a adopté lors de son conseil d'administration du 8 octobre 2020 des *framework conditions* qu'AdF a complétées en recommandant des mesures alternatives fondées sur le marché (MBM ou *Market Based Measures*) plutôt que le SEQE.

engagés dans cette transition, notamment la mise en place par le Cluster maritime français d'une plateforme d'échange et d'information pour « Réussir la transition éco énergétique du maritime » ainsi que les initiatives en ce sens des pôles de compétitivité.

#### *2.4.1.9 Le développement résolu de l'électrification à quai des navires et l'avitaillement en GNL*

Il convient de réduire le développement résolu de l'électrification à quai des navires afin de réduire les émissions à l'escale, dont le quatrième rapport de l'OMI sur les émissions de GES a montré toute l'importance.

Par ailleurs, l'article 6 du décret approuvant la PPE<sup>91</sup> a retenu comme objectif le déploiement dans tous les grands ports maritimes d'infrastructures de recharge ou de ravitaillement ouvertes au public pour le GNL maritime avant le 31 décembre 2023.

#### *2.4.1.10 Autres mesures d'accompagnement*

D'autres mesures susceptibles d'accompagner cette stratégie ou des recommandations propres à en faciliter la mise en œuvre ont aussi été identifiées par le CSMM dans un travail plus récent<sup>92</sup> :

- l'extension du mécanisme de suramortissement au-delà de la seule flotte côtière ;
- l'extension du mécanisme de certificats d'économies d'énergie limités aux seules compagnies maritimes soutant en France ;
- la nécessité de faire précéder l'adoption de mesures prescriptives d'une évaluation des projets expérimentaux relatifs aux solutions neutres en carbone ou fortement décarbonées ;
- l'utilité de relancer au niveau communautaire une initiative visant à favoriser le report modal au profit du transport maritime.

### **2.4.2 La réduction des autres émissions atmosphériques polluantes**

Les mesures les plus efficaces portent sur la reconnaissance de zones de contrôle des émissions atmosphériques, dites zones ECA, qu'elles concernent le soufre, les oxydes d'azote ou les particules fines. Si l'on se réfère aux données résultant du 2-2-2, il faudrait déjà :

- que les zones ECA Baltique/Mer du Nord étendent leur champ aux NOx (cas de la mer du Nord au 1er octobre 2021) et dans un second temps aussi aux particules fines, après avoir travaillé aux solutions technologiques adéquates ;
- que la zone ECA prévue en Méditerranée pour les oxydes de soufre soit déclarée, sachant que le processus est en cours, puis qu'elle soit progressivement étendue aux oxydes d'azote et aux particules fines.

À un horizon plus lointain, l'extension de ces zones de contrôle d'émission au golfe de Gascogne et aux départements d'Outre-mer serait souhaitable.

---

<sup>91</sup> Décret n° 2020-456 du 21 avril 2020 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie, <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041814432/>

<sup>92</sup> CSMM- Conclusions du groupe de travail sur la contribution de l'industrie du transport maritime à la transition écologique- rapporteur Serge Ségura, ambassadeur chargé des Océans- 2 juillet 2020

## 3 La stratégie de décarbonation des ports, de la pêche et de la plaisance

### 3.1 Les services portuaires et les ports

#### 3.1.1 Le périmètre de la réflexion sur les ports et les services portuaires

De même que pour le secteur du transport aérien, la mission ne s'est pas centrée sur la décarbonation et sur la réduction des émissions atmosphériques des plateformes aéroportuaires en considérant que ce sujet débordait très largement du cadre qui lui avait été imparti, mais n'a considéré que les services d'escale, de même pour le secteur maritime, la mission ne s'est pas estimée en mesure de traiter le vaste sujet de la décarbonation à opérer sur l'ensemble des espaces portuaires. Elle s'est concentrée sur les services portuaires aux navires en escale qui comprennent le pilotage, le lamanage, le remorquage, la manutention ainsi que sur les initiatives des ports visant à accompagner la décarbonation et la réduction des émissions atmosphériques des navires en escale.

La question des émissions des navires au port, principalement au mouillage, à quai ou dans les approches portuaires est devenue de plus en plus sensible aux riverains des grandes villes portuaires, notamment pour les navires de croisière, particulièrement visibles du fait de leur grande taille et des *ferries* qui bénéficient tous deux d'installations portuaires situées dans des zones fortement urbanisées, contrairement aux autres trafics souvent plus éloignés des centres urbains pour des raisons historiques ou parce que les tirants d'eau et les espaces nécessaires aux traitements des navires liés aux autres trafics portuaires ne permettaient pas de les maintenir dans les espaces urbains historiques.

#### 3.1.2 Les émissions au port

La première question qui s'est posée à la mission a été d'évaluer quelle part d'émission du transport maritime peut être attribuée aux navires aux ports par rapport au total des émissions du transport maritime, étant entendu que la part d'émission au port concerne à la fois les navires en attente au mouillage, dans leurs opérations de chenalage des accès ou dans leur stationnement aux postes à quai en vue d'une éventuelle manutention.

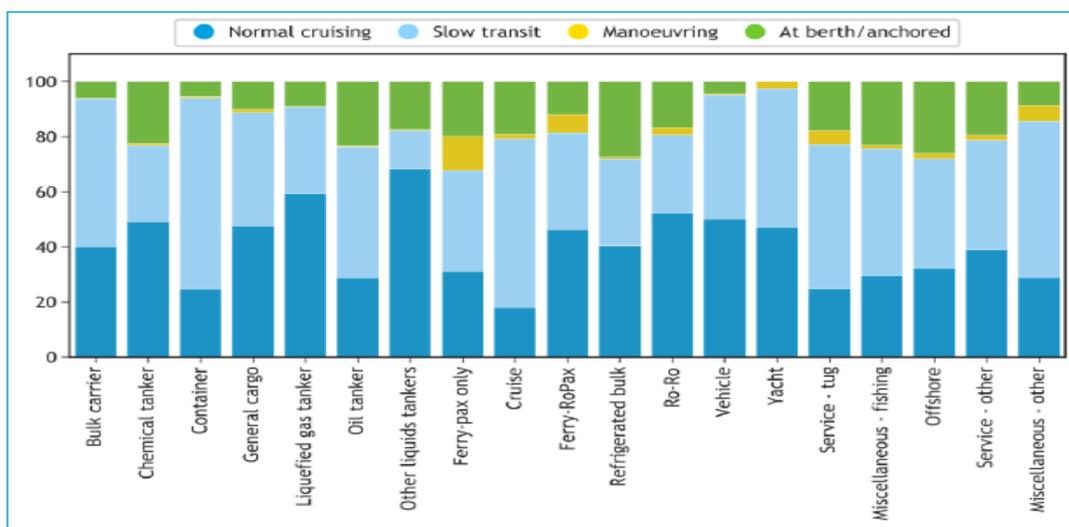
Pour les services portuaires d'escale, la mission ne dispose pas de données permettant de les quantifier. Sans doute une enquête spécifique menée auprès des associations représentatives des professions portuaires opérant ces services d'escale permettrait-elle de disposer de telles données.

Deux sources d'information ont en revanche été obtenues à ce sujet par la mission pour le transport maritime lui-même :

- celle de la Commission européenne qui donne le chiffre de 6 % <sup>93</sup> dans une étude d'impact récente selon le rapportage MRV ;
- celle de l'OMI pour les parcours internationaux (dans sa quatrième publication relative aux GES), qui donne des niveaux très variables selon la nature des trafics, sachant que l'énergie du bord est souvent utilisée par les navires de vrac liquides qui ne recourent pas à une manutention par des moyens à quai mais par les moyens du bord, comme on peut le constater dans la figure ci-dessous.

---

<sup>93</sup> À ne pas confondre avec les émissions de la zone portuaire elle-même



Source: UMAS.

**Figure 11** : Proportion of international GHG emissions (in CO<sub>2</sub>e) by operational phase in 2018, according to the voyage-based allocation of emissions. Operational phases are assigned based on the vessel's speed over ground, distance from coast/port and main engine load<sup>94</sup>

Il en résulte que même si la proportion des émissions au port est plus faible que celle des émissions en navigation de croisière, en transit lent ou en manœuvre, son niveau qui dépasse souvent 10 % pour une large part des navires requiert des actions de réduction énergiques dans les ports.

Sur la question spécifique des émissions des exploitants de ports en France, l'UPF a apporté à la mission les précisions suivantes :

- réalisation d'un bilan d'émissions de GES (BEGES) : cette disposition d'ordre législatif existe en France. Le bilan est réalisé par les ports en application du code de l'environnement <sup>95</sup>. Certains des ports interrogés n'entrent pas dans le champ de l'obligation mais effectuent ou se préparent à effectuer un BEGES ;
- méthodologie : l'article R.229-48 du code de l'environnement prévoit que le ministère chargé de l'environnement publie les informations méthodologiques nécessaires au respect de la loi. Le guide méthodologique utilisé en majorité est « Méthode pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre conformément à l'article L.229-25 du code de l'environnement Version 5 ». Le guide « Méthode pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre des collectivités conformément à l'article 75 de la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (ENE) » publiée en avril 2012 a été utilisé par un port. L'utilisation du guide « Information GES des prestations de transport, Application de l'article L.1431-3 du code des transports, Guide méthodologique, Version actualisée suite à l'article 67 de la loi n° 2015-99, septembre 2018 » est utilisé par un port pour les émissions liées aux transports ;
- activités couvertes par le BEGES : La méthodologie précise que le périmètre d'une organisation intègre « l'ensemble des établissements lui appartenant ». L'ensemble des activités des

<sup>94</sup> Source : OMI-UMAS, *Fourth IMO GHG Study*, <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>

<sup>95</sup>« I. Sont tenus d'établir un bilan de leurs émissions de gaz à effet de serre (...) 3° L'État, les régions, les départements, les métropoles, les communautés urbaines, les communautés d'agglomération et les communes ou communautés de communes de plus de 50 000 habitants ainsi que les autres personnes morales de droit public employant plus de deux cent cinquante personnes. », Paragraphe 3 de l'article L229-25 du code de l'environnement/  
<https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGIARTI000031694974/2016-01-01/>

exploitants des ports mentionnées dans les deux ou trois *scopes* (cf. ci-dessous) définis dans le guide méthodologique du ministère (émissions directes, indirectes, autres émissions indirectes) est pris en considération ;

- *scopes* d'émission : La méthodologie prévoit trois périmètres possibles d'émissions directes et indirectes pour le rapportage<sup>96</sup> ;
- périodicité : Tous les trois ans (règle). Certains ports optent pour la périodicité triennale, d'autres s'orientent vers une périodicité annuelle.

### 3.1.3 Les expériences et les projets prometteurs

Au cours de ses réunions, le groupe d'accompagnement a pu prendre connaissance des initiatives souvent très convergentes montées par les acteurs suivants et dont la mission n'a retenu que les éléments les plus originaux à ses yeux.

#### 3.1.3.1 Le grand port maritime du Havre (GPMH)

Le GPMH procède, depuis 2008, à un bilan des émissions de gaz carbonique, conformément à l'article 75 de la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement. Ce bilan prend en compte l'ensemble des activités mentionnées dans les trois périmètres (émissions directes, émissions indirectes associées à l'énergie, autres émissions indirectes) définis dans le guide méthodologique du ministère de la transition écologique. Il indique que les périmètres adoptés peuvent différer d'un port à l'autre, pour les ports ne relevant pas de l'obligation du code de l'environnement, selon la nature de ses activités. Ce bilan propre à l'exploitant du port est à distinguer de l'estimation des émissions de GES effectué par Atmo-Normandie sur la zone industrialo-portuaire qui prend en compte les émissions des principaux émetteurs (industries et transport). En outre la mesure ESI (*Environmental Ship index*<sup>97</sup>), qui permet aux navires classés favorablement de bénéficier de ristournes sur les droits de port grâce à cet indice environnemental international, y est opérationnelle depuis 2012.

#### 3.1.3.2 Le grand port maritime de Marseille (GPMM)

Le GPMM est intervenu depuis 2017 sur l'alimentation électrique à quai des *ferries* de La Méridionale vers la Corse. Ces facilités sont en cours d'extension auprès de Corsica Linea, des *ferries* internationaux, de la croisière et de la réparation navale, avec des réflexions également en cours sur les navires de marchandises. L'essentiel est de s'assurer que l'électricité produite est bien d'origine décarbonée, ce qui est actuellement certifié par Enedis. L'enjeu est celui d'un quintuplement de la puissance disponible pour passer de 10 à 50 MW. Sa vision relative au déploiement de l'hydrogène sur le territoire industrialo-portuaire avec quatre composantes repose sur des effets d'économie d'échelle : consommation par l'industrie (raffinerie, sidérurgie notamment) et par la mobilité lourde au niveau de la zone industrialo-portuaire et de l'hinterland ; production locale ; et innovation et import / export. Des projets de captation et de valorisation de CO<sub>2</sub> ont été réalisés : production de microalgues (VASCO2) ou sont en cours : méthanation (Jupiter 1000), Carbon4Pur. En outre, le bilan des émissions de gaz à effet de serre (BEGES) a également été réalisé par le GPMM et doit à présent être actualisé. Enfin, le GPMM fait partie du programme ESI depuis trois ans.

---

<sup>96</sup> Périmètre 1 : Les émissions directes, produites par les sources, fixes et mobiles, nécessaires aux activités de la personne morale. Périmètre 2 : Les émissions indirectes associées à la consommation d'électricité, de chaleur ou de vapeur nécessaires aux activités de la personne morale. Périmètre 3- optionnel : les autres émissions indirectement produites par les activités de la personne morale

<sup>97</sup> Issu d'un travail au sein de l'IAPH (*International Association Ports and Harbors*), mené dans le cadre de la WPCI (World Port Climate Initiative), transformée depuis quelques années en WPSP World Port Sustainable Program qui dépasse le seul sujet climatique.

### 3.1.3.3 . Le grand port maritime de Dunkerque (GPMD)

Le GPMD a plus récemment assuré l'électrification à quai pour les porte-conteneurs du terminal des Flandres (mise en service en 2019) et s'implique en conseil logistique auprès du projet de recherche européen monté par l'IFPEN avec un consortium industriel regroupant notamment Arcelor-Mittal et Total, l'objectif étant de démontrer la faisabilité industrielle de la captation et du stockage de gaz carbonique en utilisant, dans le cadre du procédé DMX, des solvants à deux phases en post-combustion (sortie de hauts fourneaux pour Arcelor-Mittal).

### 3.1.3.4 Le grand port maritime de La Martinique (GPMLM)<sup>98</sup>

L'enjeu de décarbonation des ports d'Outre-mer est plus complexe qu'en métropole avec le réseau électrique européen interconnecté car la production d'électricité y est majoritairement opérée par des centrales thermiques au TBTS (fioul lourd à très basse teneur en soufre). L'enjeu de la PPE est déjà celui d'une réduction de 50 % des émissions du mix électrique en Martinique pour passer entre 2014 et 2023 de 0,84 kg CO<sub>2</sub> par kWh à 0,42 kg/CO<sub>2</sub>/kWh alors que la métropole affichait en 2018 un taux sept fois moindre de moins de 0,06 kg CO<sub>2</sub>/kWh du fait du parc nucléaire. Pour déployer une alimentation électrique à quai conforme aux objectifs d'amélioration de la qualité de l'air, l'enjeu pour le port consiste à associer deux développements concomitants : celui de la génération et de la maîtrise d'un mix électrique portuaire à partir d'énergies renouvelables locales et d'unités de stockage d'électricité et celui de la maîtrise des consommations d'électricité pour les activités portuaires.

### 3.1.3.5 Le port de Sète

Établissement public régional de la Région Occitanie, le port de Sète conçoit sa stratégie de transition énergétique en étroite liaison avec celle de la Région en s'appuyant sur quatre piliers : promotion des modes de transport à faibles émissions ; développement des énergies renouvelables ; mise en œuvre de la stratégie bas carbone dans le cadre d'un programme régional sur l'hydrogène vert ; promotion de l'innovation. Le Port a signé en novembre 2020 une convention avec Enedis, gestionnaire du réseau public de distribution d'électricité, pour déployer d'ici à 2023 le branchement électrique à quai des navires. Le projet *Green Harbour* vise à concevoir un navire de service polyvalent capable de collecter les déchets solides et liquides, de récupérer les effluents des *scrubbers*, et de fournir une énergie propre en tout point du port, grâce à quatre conteneurs embarqués sur le navire polyvalent : deux pour le stockage d'hydrogène vert produit par la ferme d'éoliennes flottantes prévue en 2022 dans le golfe du Lion, un conteneur pour une pile à combustible de grande puissance et un quatrième conteneur contenant l'équipement de contrôle commande.

### 3.1.3.6 L'Union nationale des industries de la manutention (UNIM)

Les opérateurs privés de manutention portuaire, représentés par l'UNIM, mettent leur savoir-faire au service du développement économique, en œuvrant au quotidien pour réduire l'empreinte carbone associée. Accroître les échanges commerciaux qui passent par les ports français et favoriser un redéploiement multimodal maîtrisé contribue à réduire les émissions de GES pour l'ensemble de la chaîne logistique.

En termes de réalité économique, l'annonce en 2019 de la fin du taux « réduit » de la TICPE sur le gazole non routier destiné à être utilisé comme carburant sur les engins et outils de manutention portuaire a obligé l'UNIM à réagir par rapport à une mesure qui aurait entraîné un surcoût insupportable pour les entreprises (2 à 3 % du chiffre d'affaires ce qui équivaut à la marge des entreprises de la branche).

En outre, l'UNIM s'est engagée au sein du groupe T2M initié par le Cluster maritime au côté des autres

---

<sup>98</sup> Contribution du GPMLM à la séance du groupe d'accompagnement du 21 juillet 2020

acteurs de la chaîne de valeur maritime dans une réflexion concertée en vue de réduire sensiblement les émissions atmosphériques polluantes issues des moyens de transport et de manutention associés à la logistique des marchandises, tout en soulignant que les équipements spécifiques de manutention portuaire hybrides existent d'ores et déjà sur le marché de même que les véhicules autonomes ou véhicules automatiques guidés électriques. Des efforts ont aussi été menés pour la récupération électrique d'une partie de l'énergie de motorisation des portiques de quai. Ces éléments font partie des programmes d'investissement des opérateurs de terminaux portuaires.

Enfin, l'UNIM a rappelé qu'elle est ainsi engagée à réaliser une veille étroite sur les évolutions technologiques susceptibles d'améliorer l'efficacité énergétique, tout en tenant compte de l'offre du marché et du principe de proportionnalité entre coûts d'investissement et optimisation énergétique.

### *3.1.3.7 La Fédération française des pilotes maritimes (FFPM)*

Les pilotes maritimes ont également fait valoir leurs efforts pour réduire l'empreinte carbone de leurs services. Un travail important a été mené sur l'amélioration des performances énergétiques des vedettes de pilotage. Axées sur trois facteurs, la carène, la propulsion et l'exploitation, ces améliorations ont permis de diminuer en moyenne de 20 % les besoins énergétiques des vedettes. Depuis deux ans, des recherches de solutions de propulsion neutre en carbone sont en cours avec, par exemple, l'expérimentation d'une vedette électrique à la station de pilotage de Sète en partenariat avec celle de Marseille. D'autres actions sur l'hydrogène, l'hybridation ou l'utilisation de carburants verts sont également menées. Par ailleurs, les pilotes maritimes développent avec les autorités portuaires des pratiques à l'approche des ports ou dans les manœuvres allant dans le sens des réductions d'émission de gaz par les navires.

De façon plus large, les pilotes font observer que les navires de petite taille (moins de 24 m) représentent une part importante des navires utilisés dans les ports et les rades. Même si leur impact carbone est très limité en comparaison de celui de la flotte marchande, ils n'en restent pas moins soumis également à l'objectif de décarbonation. Il va falloir résoudre une équation complexe pour combiner respect des normes de conception, sécurité et environnement et le faire au regard du coût des technologies actuellement envisagées. Aucune solution n'est aujourd'hui satisfaisante à utilisation équivalente pour ces petites unités. Plusieurs navires tests fonctionnent aujourd'hui en "tout électrique" ou avec des solutions de piles à combustible, mais ils restent limités, pour le moment, aux seuls transports de passagers en eaux calmes et à très faible vitesse.

## **3.1.4 Les mesures d'accompagnement des ports à la décarbonation du transport maritime**

De cet inventaire rapide des solutions déployées par les acteurs portuaires et des différents domaines d'actions des ports préconisés par l'OMI pour décarboner le secteur maritime<sup>99</sup>, on peut alors s'interroger sur les mesures d'accompagnement que les ports peuvent mettre en place pour favoriser et accélérer la transition énergétique des navires. Les mesures significatives sont actuellement l'approvisionnement en carburants alternatifs, principalement le GNL qui a l'avantage de réduire les émissions soufrées mais qui ne réduit pas beaucoup les émissions de GES, et, surtout, la fourniture d'électricité aux navires à quai qui requiert de forts investissements tant pour l'armateur que pour le

---

<sup>99</sup> Dans sa résolution MEPC.323(74) adoptée en 2019, sur la coopération entre les différents acteurs et les ports pour décarboner le shipping, l'OMI retient une typologie d'intervention des ports divisée en quatre domaines d'action :

- i) le développement du courant électrique à quai ;
- ii) l'approvisionnement en carburants alternatifs durables ;
- iii) la promotion de systèmes d'incitation portuaire ;
- iv) l'optimisation des escales (juste-à-temps).

port, car il faut souvent installer au port des convertisseurs de fréquence puisqu'un certain nombre de pays à l'instar des États-Unis utilisent la fréquence de 60 Hertz (contre 50 en Europe). À plus long terme, bien sûr, les approvisionnements en sources d'énergie alternative sont nécessaires de même que la certitude que les alimentations électriques sont (ou vont être) réellement décarbonées (ce qui est déjà le cas de la métropole).

Pour le GNL, la mission estime qu'il est nécessaire d'encourager les solutions de soutage qui commencent à se déployer dans les ports dotés de terminaux méthaniers (Dunkerque, Nantes Saint-Nazaire et Marseille-Fos) mais aussi de favoriser les expérimentations de capture et de stockage du gaz carbonique à bord des navires : en effet, si les futurs navires au gaz pouvaient être équipés dès la conception de dispositifs leur permettant à des conditions raisonnables de coût d'être neutres en carbone, le gaz pourrait constituer une solution se rapprochant de la neutralité carbone. Comme déjà signalé, l'article 6 du décret approuvant la PPE<sup>100</sup> a d'ailleurs retenu comme objectif le déploiement dans tous les grands ports d'infrastructures de recharge ou de ravitaillement ouvertes au public pour le GNL maritime avant le 31 décembre 2023. En parallèle, si la capture à bord du CO<sub>2</sub> se développait effectivement, l'étude du stockage (voire de la réutilisation) du CO<sub>2</sub> liquide dans les ports devrait être menée.

Pour l'alimentation électrique à quai, ces initiatives sont souvent ponctuelles et le fruit d'opportunités comme le cas de la desserte de la Corse à Marseille par la Méridionale, mais la généralisation de ces alimentations électriques suppose que deux conditions soient réunies :

- que la fourniture électrique soit réalisée réellement décarbonée ce qui est immédiatement possible avec le mix énergétique du réseau interconnecté des ports de métropole mais nécessite, pour les ports d'Outre-mer, d'accéder à un « mix énergétique portuaire » à partir d'énergies renouvelables ;
- que le modèle économique de fourniture de l'électricité à quai et à bord n'induisse pas des surcoûts prohibitifs, ce qui dépend de chaque situation.

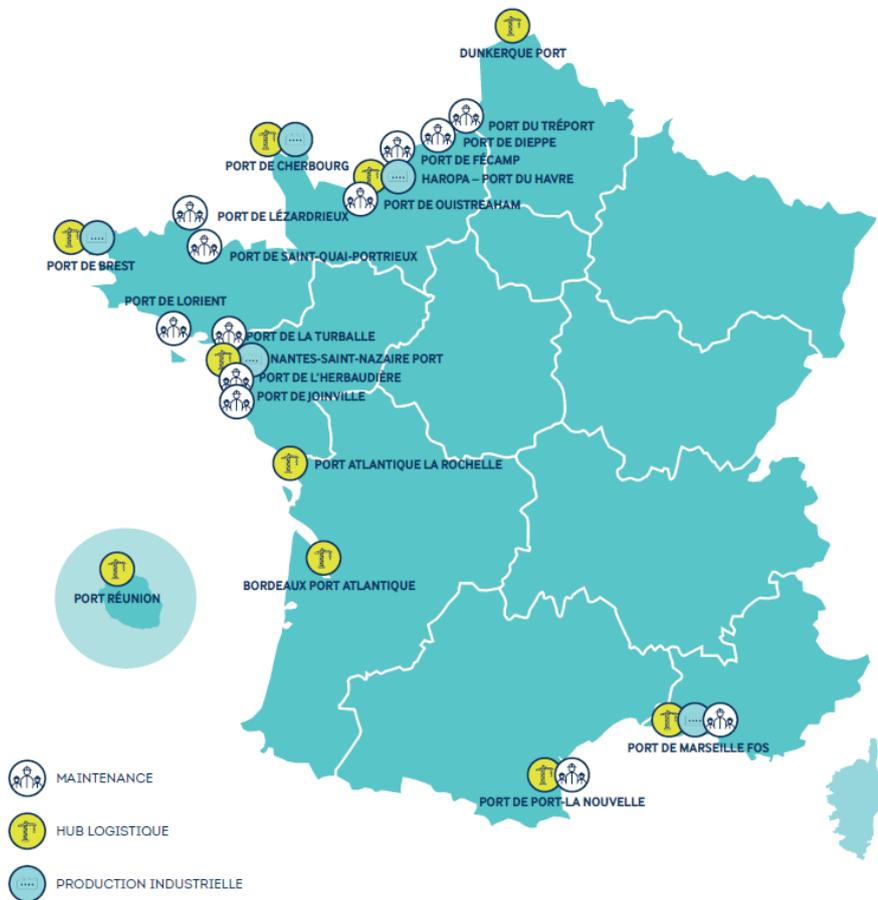
Pour les moyens d'approvisionnement en sources d'énergie alternative qui rétroagissent souvent avec les autres besoins de la demande d'énergie décarbonée de secteurs d'activités différents tels le transport routier, le transport aérien, le transport fluvial ou les logements urbains : biocarburants, ammoniac, hydrogène, etc..., de très nombreuses expérimentations se multiplient qui requièrent une forme de capitalisation que devrait pouvoir réaliser la coalition T2E montée par le Cluster maritime français en 2019 pour la transition énergétique et écologique du secteur maritime pris dans son ensemble.

Ce dernier sujet amène naturellement à s'interroger sur les spécificités et le rôle propre des ports par rapport à la production et à la distribution d'énergie renouvelable ou décarbonée : pour l'éolien *offshore* posé ou flottant, les ports servent, pour les plus importants d'entre eux, aux industries impliquées dans la production des éoliennes ; pour nombre d'entre eux, ils constituent, grâce à des *hubs* logistiques, des plateformes d'assemblage et, pour les ports les plus proches des champs éoliens, de port d'attache des navires de maintenance des installations en mer comme l'illustre la carte récente des ports impliqués<sup>101</sup>.

---

<sup>100</sup> Décret n° 2020-456 du 21 avril 2020 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041814432/>

<sup>101</sup> Observatoire des énergies de la mer- Note n° 8 d'octobre 2020



**Figure 12** : Carte des ports impliqués<sup>102</sup>

Pour le photovoltaïque, les ports métropolitains l’envisagent comme levier d’amélioration de leurs performances environnementale et économique. Pour les ports d’outremer, c’est, en plus, un levier pour le développement de services portuaires et un outil de résilience énergétique face aux conséquences d’évènements climatiques.

Pour la distribution d’électricité, une réflexion relative au rôle propre des ports pour favoriser l’émergence et la rentabilité des filières décarbonées est nécessaire, car elle doit aussi pouvoir s’inscrire dans la dynamique entrepreneuriale du port.

D’autres mesures en cours de déploiement méritent également attention :

- celle relative à l’ESI (*Environmental Ship Index*) initiée par l’IAPH et développée en France initialement par le port du Havre, et reprise, notamment, par les ports de Marseille et de Dunkerque, qui permet de donner une incitation commerciale aux navires les plus respectueux de l’environnement. L’ESI est mis en œuvre dans plus de 50 ports mondiaux et une centaine de navires sont inscrits au programme. Les ports français ayant adopté ce programme sont, outre les ports du Havre, de Marseille et de Dunkerque, les ports de Bordeaux et de La Rochelle en métropole, et celui de La Réunion en Outre-mer<sup>103</sup> ;

<sup>102</sup> *Ibidem*

<sup>103</sup> <https://www.environmentalshipindex.org/> ; site consulté le 9 décembre 2020

- celle de la comptabilisation des émissions de gaz carbonique initiée là aussi par le port du Havre et qui peut être appliquée avec des méthodologies différentes aujourd'hui. Comme il s'agit du socle qui permet de fonder les politiques de décarbonation et que de nombreux ports concurrents l'ont déjà adoptée la mission ne peut que recommander un effort d'harmonisation des périmètres de rapportage et une périodicité réaliste pour les entretenir dans la durée.

### 3.1.5 Les mesures d'accompagnement nationales ou locales

Le groupe d'accompagnement mis en place par la mission avec la direction des affaires maritimes (DAM) et la sous-direction des ports et du transport fluvial (PTF) pour le transport maritime et le transport fluvial s'est penché sur les mesures d'accompagnement nationales ou locales mises en place.

Pour le secteur portuaire, ces mesures sont soit de nature opérationnelle, soit de nature économique et financière :

- **en matière opérationnelle**, la principale mesure envisagée est de portée locale : celle de la réduction de vitesse dans les approches portuaires à l'instar des dispositions adoptées au GPM de Marseille (cf. règle 4 de la charte Bleue Croisière Marseille Provence du 17 octobre 2019<sup>104</sup>), qui s'apparente aussi aux dispositions existant de longue date aux abords des ports de Californie, mais elle se heurte souvent à des limitations relatives à la manœuvrabilité en sécurité des navires, aux règles de circulation des navires dans le port (croisement de navires transportant des marchandises dangereuses), aux contraintes de circulation dans le port liées au marnage et au tirant d'eau des navires, si bien que son effet devrait rester faible. De plus, elle peut parfois se révéler contre-productive au regard des courtes distances à parcourir pour rejoindre les quais d'exploitation dans certains ports depuis l'entrée dans leur zone maritime et fluvial de régulation. En revanche la fiabilisation des ETA (*Estimated Time of Arrival*) des navires avec plus d'anticipation permettrait de mieux coordonner l'heure de début des opérations de manutention avec l'arrivée sur rade des navires et donc d'optimiser la vitesse sur une longue durée ; cette mesure peut aussi être complétée par une mesure d'optimisation plus locale telle que l'éco-pilotage des navires mis en place par le GPM de Marseille ;
- **en matière fiscale**, les principales mesures concernent aujourd'hui les armateurs qu'il s'agisse de suramortissement de leurs équipements en décarbonation, mais aussi de la réduction des taxes applicables à l'électricité à quai, disposition pour laquelle la France a demandé en août 2019, comme d'autres pays européens, l'autorisation d'appliquer un taux réduit à la navigation de commerce, ce que le Conseil lui a accordé le 29 octobre 2020 pour la période 2021-2026<sup>105</sup> ;
- **en matière d'obligation d'alimentation électrique à quai**, l'UPF<sup>106</sup> considère que la question mérite un examen local approfondi : « *En outre, avant de définir une obligation de branchement des navires à quai lorsque le navire et le port sont équipés, il convient de regarder plus précisément la question de l'abonnement au réseau électrique lorsque la prise n'est pas utilisée. Le port ou son opérateur ne peut et ne doit supporter le coût d'un abonnement pour des installations qui ne seraient pas utilisées alors que les réserves de puissances peuvent, selon les types de navires, atteindre des niveaux très élevés, par exemple de l'ordre de 15 à 20 MW. Aussi, le développement ou*

<sup>104</sup> Règle numéro 4 : Maintenir une vitesse maximale de 10 nœuds dans la zone pilotée en entrée et en sortie, sauf instructions contraires de la vigie (VTS) nécessaires pour assurer la sécurité du navire ou la sauvegarde des vies en mer ou pour des raisons de régulation du trafic, en privilégiant les bonnes pratiques répondant aux exigences en matière de respect de l'environnement mises en place, en collaboration avec l'autorité portuaire et le service de pilotage. Une veille efficace et une supervision permanente des machines au cours des manœuvres, de l'accostage et de l'escale sera entreprise afin d'anticiper tout dysfonctionnement des groupes électrogènes, moteurs principaux, chaudières ou incinérateurs, ou tout autre source d'émissions de polluants.

<sup>105</sup> Décision d'exécution (UE) 2020/1629 du Conseil du 29 octobre 2020, pour la période 2021 à 2026 inclus. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32020D1629&from=FR>

<sup>106</sup> Note UPF de contribution au travail de la mission du 18 septembre 2020

*l'adaptation d'infrastructures de carburants alternatifs et d'électricité pour les navires à quai, ou de toutes autres solutions permettant d'atteindre les mêmes objectifs, devrait être favorisé par **des démarches locales collectives**, associant l'ensemble des acteurs (ports, terminaux portuaires, armateurs, énergéticiens, industriels, collectivités, ONG,...), s'appuyant sur des études d'impacts, permettant de définir les solutions appropriées et répondant à **un modèle économique propre à chaque port**.* » Ce souhait exprimé par l'UPF doit être mis en regard d'une évolution possible des tarifs de transport de l'électricité qui donnerait plus d'importance à la puissance des installations raccordées : c'est en effet la puissance qui dimensionne le réseau de transport et de distribution.

De plus, la question de l'extension des dispositions de suramortissement aux ports mérite examen.

De même, il serait logique que les projets de R et D visant une expérimentation de carburants alternatifs soient dotés d'incitations supplémentaires pour en accélérer la réalisation.

### 3.1.6 Les mesures à encourager

Au terme de cette synthèse sur la contribution des ports à la décarbonation du transport maritime, la mission ne peut qu'encourager les acteurs portuaires :

- à constituer une plateforme d'échange d'expériences en lien étroit avec la coalition T2EM montée par le CMF ;
- à harmoniser les périmètres de rapportage des émissions de GES des ports et à étendre ce rapportage progressivement aussi aux émissions de polluants atmosphériques ;
- à initier un inventaire régulier des émissions de GES et de polluants atmosphériques des navires et des services aux navires dans les approches portuaires et au port puisque ces éléments ne sont évalués aujourd'hui que très indirectement et très globalement par l'UE ou par l'OMI ;
- à concrétiser la réflexion plus large à engager sur le modèle économique des électrifications à quai et de l'utilisation de sources d'énergies décarbonées ;
- à veiller à inscrire les stratégies portuaires en cohérence avec les stratégies nationales et régionales de transition énergétique et de décarbonation, ce qui peut passer par la mise au point d'une feuille de route de l'ensemble du système portuaire ;
- à stimuler et à structurer leurs efforts de recherche et développement en consacrant à ce sujet un des volets des journées annuelles des « ports du futur » ;
- à renforcer leurs actions en faveur du ferroviaire et du fluvial ainsi que du transport maritime à courte distance (*short-sea*) ;
- à favoriser la démarche en cours tendant à mettre en place des écolabels des flux logistiques portuaires dans la mesure où ils visent à favoriser les flux les moins émetteurs de GES.

## 3.2 La pêche

Bien que le secteur de la pêche ne fasse pas partie du secteur des transports et que la profession ait été fortement mobilisée sur les impacts du Brexit sur les zones de pêche, le rapportage des émissions du secteur maritime effectué par le Centre interprofessionnel d'études de la pollution atmosphérique (Citepa) fait apparaître des niveaux d'émission de GES et de NOx élevés, quoiqu'incertains, et décroissants depuis 1990. Dans ce contexte, la mission a estimé utile, après avoir rappelé les objectifs de réduction d'émissions de ce secteur (3-2-1) ainsi que quelques données de base sur les flottes de pêche françaises (3-2-2), de mieux appréhender la question du niveau des émissions de ce secteur d'activité (3-2-3), puis d'indiquer dans quelle mesure certaines pistes envisagées pour la réduction des GES dans le secteur du transport maritime pourraient être adaptées au secteur de la pêche, et dans

quelles conditions (3-2-4). La mission a en effet reçu à la fois de la part de la direction des pêches maritimes et de l'aquaculture (DPMA), de l'Union des armateurs à la pêche de France (UAPF) et du Citepa un certain nombre de renseignements utiles à la caractérisation du sujet de la décarbonation et de la réduction des émissions de polluants atmosphériques du secteur de la pêche.

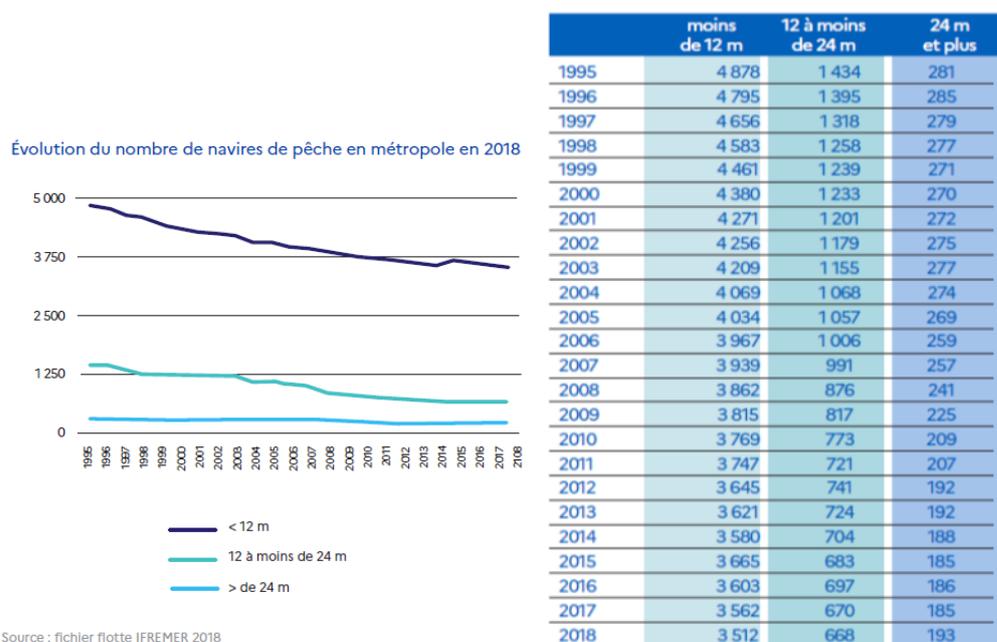
### 3.2.1 Les objectifs actuels de réduction des émissions de GES de la pêche

Le secteur de la pêche n'est pas concerné par les objectifs de réduction des émissions retenues dans le cadre de la loi d'orientation des mobilités.

Les réductions d'émissions de ce secteur relèvent donc de l'article premier de la loi climat énergie qui fixe pour objectif « d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 en divisant les émissions de gaz à effet de serre par un facteur supérieur à six » mais également de la SNBC qui montre que l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050 implique la quasi disparition des émissions de CO<sub>2</sub> énergétique. Cette spécificité s'applique donc également au secteur de la pêche.

### 3.2.2 Rappels sur la flotte de pêche française

France Agrimer publie chaque année des données récapitulatives du secteur de la pêche. Les données 2020<sup>107</sup> permettent de se faire une idée de la réduction progressive de la flotte de pêche en nombre de navires entre 1995 et 2018 par taille de navires.



**Figure 13** : évolution du nombre de navires de pêche par taille entre 1995 et 2018<sup>108</sup>

La nature de la pêche pratiquée peut être différenciée en quatre types :

- petite pêche : lorsque l'absence du port est inférieure à 24 heures ;
- pêche côtière : lorsque celle-ci se situe entre 24 et 96 heures ;

<sup>107</sup> Chiffres-clés des filières pêche et aquaculture en France en 2020- Production - Entreprises Échanges - Consommation  
<https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/64767/document/CC%20p%C3%AAche%20aqua%20FR.pdf?version=2>

<sup>108</sup> Note UPF de contribution au travail de la mission du 18 septembre 2020

- pêche au large : lorsque celle-ci correspond à une absence du port de plus de 96 heures sans qu'elle entre dans la catégorie suivante de la grande pêche ;
- grande pêche : lorsque celle-ci est exercée par des navires de plus de 1000 tonneaux de jauge brute ou par des navires de plus de 150 tonneaux de jauge brute opérant plus de 20 jours par an.

À titre indicatif, on peut aussi faire référence à la répartition des navires par catégorie d'équipements de pêche en se référant au tableau suivant et en tenant compte des restrictions indiquées aux renvois 1) à 3) qui figurent sous le tableau :

### Nombre de navires (ayant déclaré des ventes en halles à marée en 2019) <sup>(1) (2) (3)</sup>

Chalutiers polyvalents	438
Chalutiers exclusifs	403
Fileyeurs exclusifs	317
Dragueurs	273
Fileyeurs caseyeurs	270
Caseyeurs exclusifs	205
Métiers de l'hameçon exclusifs	171
Senneurs (bolincheurs)	103
Fileyeurs métiers de l'hameçon	94
Caseyeurs métiers de l'hameçon	93
Tamiseurs exclusifs (civelles)	90
Divers métiers côtiers	89
<b>Total</b>	<b>2 546</b>

(1) Répartition par flottille selon l'enquête SIH Ifremer 2019 - (2) Hors Méditerranée  
 (3) Les types de flottilles "indéterminés" et "inactifs à la pêche" n'ont pas été pris en compte

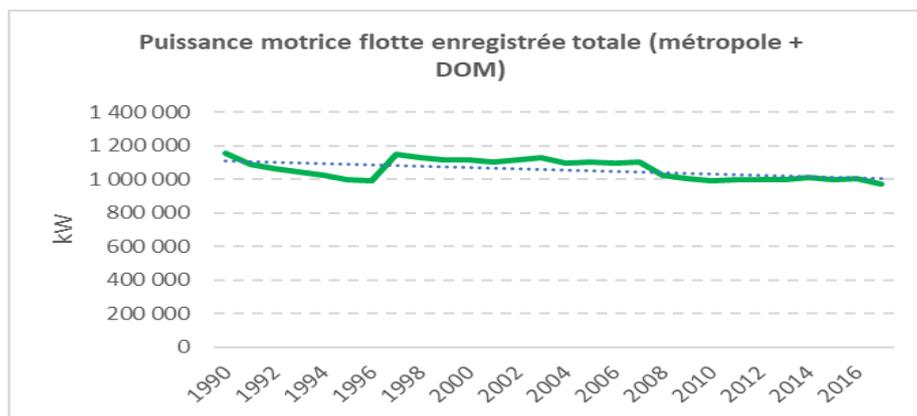
Sources : FranceAgriMer, Ifremer

**Tableau 5 : Nombre de navires ayant déclaré des ventes en halle à marée en 2019 <sup>109</sup>**

### 3.2.3 Les données d'émissions des navires de pêche

Les principes de rapportage des émissions de la pêche distinguent trois zones géographiques : métropole, Outre-mer intégré à l'UE et Outre-mer hors UE. Les données d'activité sont les ventes de carburant réalisées pour les besoins de la pêche (essence, gazole, fuel lourd, biocarburants). Les émissions, quant à elles, sont estimées en multipliant les consommations de chaque type de carburant par leur facteur d'émission sans qu'il soit possible d'utiliser une norme d'émission. Le Citepa indique également que, même si les zones de pêche s'étendent bien au-delà des eaux territoriales et des zones économiques exclusives (ZEE), les émissions de la pêche sont entièrement incluses dans les émissions de l'inventaire national français envoyé à la CCNUCC. D'autres pays considèrent qu'une proportion plus ou moins importante des émissions de la pêche relèvent du maritime international et non de leur contribution nationale.

<sup>109</sup> *Ibidem*



**Figure 14 :** Evolution 1990-2017 de la puissance motrice nominale (kW) de la flotte de pêche française toutes entités territoriales combinées (hors PTOM). Note: la flotte des DOM est intégrée à partir de 1997<sup>110</sup>

Les niveaux d'émission étaient estimés par le Citepa<sup>111</sup> autour de 1,5 Mt de CO<sub>2</sub>e en 1990, soit 0,28 % du total national et se situent en 2018 autour de 1 Mt, soit 0,23 % du total national. Cette baisse de 34 % correspond à la réduction de la flotte, sachant que la puissance motrice des navires a certes varié différemment entre la métropole et l'Outre-mer (large réduction pour la métropole et forte croissance pour les DOM), mais avec globalement une légère décroissance pour le total à partir de 1997, date à laquelle les données des DOM ont été agrégées à celles de la métropole.

En revanche, pour les NO<sub>x</sub>, le Citepa relève que les émissions ont certes été réduites entre 1990 et 2018 pour passer de 34 000 tonnes à 22 000 tonnes, mais que comme les émissions globales de NO<sub>x</sub> en France ont baissé plus rapidement, la part relative de la pêche a fortement augmenté en passant de 1,71 % à 2,99 % du total des émissions françaises de NO<sub>x</sub>, ce qui nécessite un travail plus fin pour en réduire la proportion relative en deçà de 2 %.

De son côté l'UAPF a fait état d'une « Étude sur les émissions de gaz à effet de serre de la flotte de pêche française » en cours de finalisation réalisée par France Filière Pêche en juillet 2020 tendant à vérifier par une autre méthode les estimations effectuées par le Citepa sur les émissions de GES et à déterminer s'il existe au vu des résultats obtenus une possibilité de mener une étude plus large à ce sujet au niveau de l'OMI, la question de l'opportunité d'une telle étude dans le cadre OMI restant à débattre.

**La mission considère de ce fait qu'une fois l'étude mentionnée par l'UAPF validée, un examen comparatif doit être effectué avec le Citepa, pour voir si une ré-estimation des données d'émissions de GES depuis 1990 mérite d'être réalisée avec l'ensemble des parties prenantes (Citepa/DPMA/CGDD/UAPF/...), sachant que par ailleurs le sujet des émissions de NO<sub>x</sub> mérite lui aussi une attention particulière afin de déterminer les voies de réduction possibles.**

### 3.2.4 Les incitations économiques actuelles : le signal prix carbone et le fonds européen pour les affaires maritimes et la pêche

Le secteur de la pêche bénéficie aujourd'hui :

- d'une exemption de la TICPE : de la Directive 2003/96/CE du Conseil du 27 octobre 2003 relative au cadre communautaire de la taxation des produits énergétiques et de l'électricité pose le principe de l'exonération de taxation de l'utilisation des carburants ou des combustibles, à l'exception des bateaux de plaisance privés, et de l'électricité produite à bord des bateaux de pêche, pour leur navigation dans des eaux communautaires. L'article 265 bis du code des

<sup>110</sup> Source : Registre UE des navires de pêche version téléchargée janvier 2020

<sup>111</sup> Rapport d'inventaire officiel dans le cadre de la Convention Climat- <https://www.citepa.org/fr/ccnucc/>

douanes transpose cette mesure dans le droit français. À ce titre, le secteur de la pêche n'est soumis ni à la TICPE ni au signal-prix carbone qui en fait partie intégrante ;

- du FEAMP qui est le fonds de l'Union européenne (UE) consacré aux affaires maritimes et à la pêche pour la période 2014-2020. Il accompagne notamment les pêcheurs dans l'adoption de pratiques de pêche durables. Ce fonds devrait être renouvelé pour la période 2021-2027 : ses nouvelles modalités d'attribution sont en cours de mise au point par la Commission au moment de l'écriture de ce rapport.

### **3.2.5 Les pistes de réduction des émissions de gaz à effet de serre**

Même si le sujet n'a pas encore fait l'objet de réflexions approfondies à ce stade, compte tenu des priorités de la profession par rapport au Brexit, les réunions du groupe d'accompagnement ont permis de confirmer que les solutions sont assez différentes entre les navires de petite pêche ou de pêche côtière, pour lesquels des solutions de motorisation électrique semblent possibles, et les navires de pêche au large ou de grande pêche, pour lesquels des solutions hybrides seraient envisageables (permettant d'effectuer le trajet jusqu'à la zone de pêche en moteur classique et le maintien sur la zone en énergie électrique).

Pour ces derniers, l'UAPF souligne un certain nombre de contraintes qui viennent limiter les possibilités de décarboner au-delà des efforts déjà observés sur la productivité des pêches :

- la prédominance en France du chalut de fond (dont on dit qu'il "consomme plus", bien que des méthodes dites douces consomment autant parfois) s'explique par la nature des espèces pêchées par la flotte française qui elle-même dépend des droits de pêche que détient la France (on ne peut pas pêcher toutes les espèces avec le même type d'engin de pêche, ou, quand on le peut, ce n'est pas toujours sans conséquences pour l'environnement) ;
- un parc de navires important (environ 6200 navires métropole et Outre-mer) et âgé qui ne pourrait pas être remplacé du jour au lendemain même si la rentabilité du pavillon français le permettait ;
- l'absence de technologies matures alternatives ou adaptées à la taille des navires de pêche qui font l'essentiel de la puissance installée : ce qui peut être déployé sur des navires de commerce ne peut pas forcément l'être sur des navires de pêche ;
- une contrainte de jauge très forte liée à la réglementation communautaire : les limitations de jauge des navires contraignent les solutions technologiques nécessitant des motorisations et des réservoirs plus volumineux, qui réduiraient les volumes de cale à poisson, ce qui n'est pas acceptable pour la profession.

### **3.2.6 La stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre**

Si, pour la petite pêche et la conchyliculture, des solutions électriques peuvent être envisagées, il n'existe pas aujourd'hui, comme d'ailleurs dans le transport maritime, une technologie qui s'impose pour le passage à la neutralité carbone des navires, en particulier pour la pêche au large et la grande pêche ; différents types de solutions doivent être testées en prenant en compte le retour d'expérience des autres pays, en particulier de la Norvège, dont les armateurs se sont engagés à ne plus commander que des navires neutres en carbone à partir de 2030.

Dans ces conditions, la mission recommande que la profession puisse progresser avec la DPMA dans la recherche de solutions alternatives aux carburants carbonés.

Une stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre du secteur de la pêche pourrait alors s'appuyer sur les deux axes suivants :

- fixer des objectifs de long terme de réduction des émissions du secteur, conformément à la loi climat-énergie : ces objectifs pourront différer dans le temps suivant le type de pêche concerné ;
- mettre en place des incitations économiques permettant de favoriser le déploiement de solutions neutres en carbone. Le nouveau programme du FEAMP devrait laisser une plus grande liberté de choix d'affectation des ressources aux États-membres.

Dans ces conditions, la mission recommande que la France utilise une partie de ces fonds pour soutenir :

- le financement d'expérimentations de motorisations neutres en carbone. Celles-ci pourraient par exemple concerner des navires utilisant l'ammoniac pour le froid mais aussi pour la propulsion ;
- le déploiement, pour la petite pêche et la pêche côtière, de systèmes de propulsion électriques et/ou hybrides, y compris pour l'aquaculture et pour la conchyliculture ;
- le déploiement d'installations et d'équipements dans les ports de pêche pour répondre aux besoins d'avitaillement en carburants alternatifs et de recharge électrique des bateaux et navires de pêche.

**La mission recommande que les motorisations et carburants alternatifs nécessitant (à équivalent de jauge utile) de plus grands volumes de jauge fassent l'objet d'amendements à la réglementation actuelle afin de ne pas freiner la dynamique à mettre en place.**

### 3.3 La plaisance

Dans l'inventaire des émissions présenté en annexe 3, les émissions du secteur de la plaisance qui résultent des données produites par la Commission des comptes transport de la nation (CCTN), sont apparues importantes, mais incertaines. La mission s'est donc attachée dans un premier temps à identifier les objectifs de réduction des émissions de gaz de ce secteur (3-3-1), à apprécier l'ampleur de ces incertitudes (3-3-2) et à préciser la mise en place d'un signal-prix carbone dans ce secteur (3-3-3). Elle a ensuite recueilli les différentes propositions de mesures envisagées par les acteurs du secteur pour réduire le niveau de ces émissions (3-3-4) avant de proposer une stratégie de réduction (3-3-5).

#### 3.3.1 Les objectifs actuels du secteur de la plaisance

Le secteur de la plaisance relève du code des transports : ses émissions sont donc comptabilisées dans le cadre de la Commission des comptes transports de la nation (CCTN). Elles sont transmises comme telles à l'ONU dans l'inventaire français des émissions (sans tenir compte d'une part internationale de ce secteur).

Les objectifs de réduction d'émissions de ce secteur relèvent donc de l'article premier de la loi climat énergie qui remplace la division par quatre des émissions par l'objectif « d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 en divisant les émissions de gaz à effet de serre par un facteur supérieur à six », mais également de la SNBC qui montre que l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050 implique la quasi disparition des émissions de CO<sub>2</sub> énergétique. Cette spécificité s'applique donc également au secteur de la plaisance.

Il est à noter que pour la plaisance, comme pour les navires professionnels, la durée de vie des bateaux s'exprime en dizaines d'années, et qu'une opération de changement de la motorisation a lieu au moins

une fois, sinon deux, dans la plupart des cas durant les 20 à 30 ans de vie.

### **3.3.2 Les incertitudes relatives à la quantification des émissions de la plaisance**

La CCTN, (qui devient en 2021 la formation transports de la Commission de l'économie du développement durable) réalise chaque année un bilan des circulations routières, de leurs consommations de carburants et de leurs émissions. En déduisant ces consommations estimées des distributions d'essences aux postes à essence fournies par le CPDP, les consommations non routières en sont déterminées.

Comme ces consommations relèvent de deux catégories, les engins motorisés de type tondeuses à gazon et tronçonneuses dont le niveau de consommation avait été estimé par le Citepa en 2000, on obtient par différence, en supposant cette consommation constante dans le temps, une estimation de la consommation de la plaisance. Une telle estimation a été réalisée par le CGDD en 2010 sur la base des consommations de l'année 2007.

Les consommations sont ensuite estimées en prenant l'ensemble du parc des bateaux de plaisance, en estimant la part active, le nombre d'heures d'utilisation moyen, une consommation horaire moyenne par type de carburant<sup>112</sup>. Cette estimation conduisait à une consommation en 2007 de 332 000 m<sup>3</sup> d'essence et de 77 000 m<sup>3</sup> de gazole, ce qui donne le niveau de 1 Mt d'émissions et représente de ce fait un niveau important.

La Fédération des industries nautiques que la mission a consultée n'a pas validé cette approximation et considère que le niveau réel se situe sans doute en deçà de cette estimation. Elle met en avant que la pollution induite par le secteur de la plaisance se situe au niveau de 1 % de celle du transport maritime selon la Commission européenne. De plus, le nombre de places disponibles dans les ports de plaisance se situe autour de 350 000 places dont on peut supposer qu'elles sont totalement occupées compte tenu de la question récurrente du manque d'anneaux pour satisfaire aux besoins de la plaisance, encore que certains bateaux ne soient mis à l'eau que lorsque ce leur est nécessaire. Un rapide calcul de la mission, en prenant pour hypothèse une utilisation de six heures par jour de navigation et de cinq jours par an, conduit à des émissions d'environ 500 000 tonnes.

Le niveau d'incertitude dans les estimations (au moins un facteur 2) reste donc fort et appelle à réaliser un travail spécifique avec la FIN, avec le CGDD, la DGITM et le Citepa pour essayer de réduire ce niveau d'incertitude. Il pourrait sans doute être réalisé en actualisant les estimations anciennes et en interrogeant au besoin la fédération française des ports de plaisance pour savoir si elle dispose ou peut disposer de volumes de carburants distribués dans les ports eux-mêmes. Cette démarche permettrait, à défaut d'obtenir une estimation globale, d'avoir une base permettant de réduire les incertitudes relatives aux valeurs moyennes utilisées pour évaluer les consommations et pour les actualiser en fonction des évolutions du parc.

### **3.3.3 La fiscalité du secteur de la plaisance**

L'article 190 du code des douanes exempte un certain nombre de navires du paiement de la taxe intérieure de consommation de produits énergétiques<sup>113</sup> : l'arrêté du 17 décembre 2015 en précise l'application à la plaisance. Il étend aux navires armés en plaisance par des professionnels l'exonération de la TICPE prévue initialement au c du 1 de l'article 265 bis du code des douanes, pour les utilisateurs

---

<sup>112</sup> Le CGDD rappelle que les consommations horaires moyennes sont très difficiles à établir car elles dépendent de la puissance du moteur, de la forme de la carène et qu'elles varient considérablement selon le type de navigation, notamment par rapport aux vitesses maximales pratiquées.

<sup>113</sup> Cette taxe ne s'applique pas dans les DOM où elle est remplacée par la TSC (Taxe spéciale de consommation) votée par la Région.

de navires de commerce, effectuant, aux besoins d'une activité commerciale<sup>114</sup>, le transport de marchandises ou le transport de personnes ou la réalisation d'une prestation de service. Les navires armés en plaisance par des professionnels peuvent donc bénéficier de l'exonération de la TICPE s'ils effectuent « des prestations de service à titre onéreux à des fins commerciales au moyen de leurs navires ».

Ainsi, et de manière simplifiée, la plaisance à titre privée est soumise à la TICPE et donc au signal-prix carbone, tandis que la plaisance « professionnelle » en est exemptée.

### 3.3.4 Les pistes de réduction des émissions de la plaisance

La mission a d'abord échangé avec la fédération française des ports de plaisance, qui, avec l'aide de sa déléguée générale de l'UPACA, Véronique Tourel-Clément, lui a indiqué qu'elle n'avait pas pour le moment de préoccupation immédiate à ce sujet, car contrairement aux navires de commerce la navigation de plaisance n'utilise pas en général ses moteurs à quai, mais se branche aux installations électriques qui suffisent pour le moment aux besoins des bateaux électriques, qu'il s'agisse de pilotines ou de bateaux de servitude.

La Fédération des industries nautiques, représentée par sa secrétaire générale, Maud Dugourd, a pu échanger avec la mission et indiquer que les entreprises de la filière nautique française, bien souvent des TPE et PME, réalisent de nombreuses innovations qui participent à la réduction des émissions. Deux exemples sont ainsi cités : l'optimisation des formes de coques – pour laquelle la France a un savoir-faire et une culture historique - et le développement de la propulsion vélique, la France ayant un taux de voiliers (20 %) supérieur à celui des autres pays (10 %) par rapport aux bateaux à moteur. Une large partie des solutions technologiques de rupture pour la limitation des émissions de gaz à effet de serre dépendent également des orientations des motoristes qui sont souvent étrangers (japonais ou américains), même s'ils ont des antennes commerciales en France, et de grands chantiers qui ont la capacité de réaliser de la R et D.

Il est à noter à ce sujet que se sont développés des constructeurs de motorisations électriques dans les pays où celle-ci a été incitée ou rendue obligatoire (Torquedo en Allemagne, Fisher Panda en Allemagne, OceanVolt en Norvège, Bellmarine aux Pays-Bas), et que ceux-ci ne sont pas liés aux groupes motoristes américains ou japonais.

La FIN a aussi rappelé **les efforts technologiques** déjà réalisés pour réduire les émissions avec le *design* des hélices, la gestion électronique de l'alimentation en carburant notamment mais aussi le passage du deux temps au quatre temps pour les moteurs hors-bord essence.

À titre d'illustration, la FIN cite le nouveau moteur HB à essence Yamaha de 200 CV qui, dans une opération de *downsizing*, a réduit son nombre de cylindres (de six à quatre) et sa cylindrée de 17 %, ce qui réduit la consommation :

- en 2011, le moteur comportait six cylindres et correspondait à une cylindrée de 3352cm<sup>3</sup> (ref Yamaha F200C – 2011) ;
- en 2020, le moteur ne compte plus que quatre cylindres et sa cylindrée a été réduite à 2785cm<sup>3</sup> (ref Yamaha F200FG – 2020).

La FIN cite aussi un second exemple avec Volvo où une innovation sur le système de propulsion a permis un gain d'énergie considérable. Le système de propulsion d'un bateau est composé d'un moteur

---

<sup>114</sup> Dans tous les cas, le bénéfice de l'exonération est conditionné à la réalisation d'une opération à titre onéreux au moyen du navire. Ce critère de l'affectation aux besoins d'une activité commerciale est toujours apprécié au regard de l'activité exercée par l'utilisateur final du navire, qu'il en soit propriétaire, locataire, ou utilisateur à tout autre titre.

mais aussi d'une transmission/embase qui établit la liaison depuis le moteur jusqu'à l'hélice. En 2004, Volvo Penta<sup>115</sup> a mis sur le marché une nouvelle embase de propulsion appelée IPS et destinée aux bateaux à moteur de 12m et plus, permettant de réduire les pertes d'énergie et la consommation de carburant de 30 %.

**Le rendement des coques des bateaux** représente l'un des principaux vecteurs d'innovation des constructeurs de bateaux de plaisance. Trois exemples sont cités par la FIN :

- En 2003, Bénéteau a lancé une nouvelle génération de coque AIRstep® destinée aux bateaux à moteur. En créant un coussin d'air entre le fond de la coque et l'eau, la puissance de propulsion nécessaire au bateau est réduite de 15 à 20 % et la consommation de carburant significativement revue à la baisse. Cette technologie a été déployée sur des milliers de bateaux depuis lors<sup>116</sup> ;
- **Le foil** est également une innovation majeure de ces dernières années qui permet une réduction de la consommation de carburant substantielle et un bénéfice conséquent sur le plan des émissions de GES. La société SEAir<sup>117</sup> est à la pointe de l'innovation en l'appliquant à la plaisance à moteur ;
- Pour mettre à la disposition des plaisanciers un maximum d'espace dans un minimum de place, la filière nautique française a misé sur **le développement du multicoque**. Avec près de 70 % des parts de ce marché à l'échelle mondiale, les constructeurs français ont saisi l'opportunité de développer des concepts plus vertueux de bateaux en exploitant deux, voire trois coques dont la proue et la largeur plus fines favorisent une consommation optimisée de carburant. Le marché de la location de bateaux de plaisance pour la croisière a ainsi fortement bénéficié du développement de ce type de bateaux plus vertueux sur le plan énergétique et de ce fait plus respectueux encore de l'environnement.

Ces dispositions vont dans le sens des économies d'énergie et représentent, comme pour le transport maritime, un premier effort vers la réduction des GES, même s'il est nécessaire de recourir à des systèmes de propulsion neutres en carbone d'ici 2050.

En revanche, en ce qui concerne les émissions de polluants atmosphériques, la directive européenne 2003/44CE amendant la directive 94/25CE fixe des exigences en matière de valeurs limites d'émissions gazeuses pour le monoxyde de carbone(CO), les hydrocarbures(HS), les oxydes d'azote (NOx) et les particules (PT). Ces valeurs limites ont été renforcées avec la directive 2013/53UE, avec certaines d'entre elles applicables à partir de 2016.

L'association française du bateau électrique (AFBE) représentée par son président, Xavier de Montgros a pu échanger avec la mission et indiquer qu'elle développe ce type de bateau qui permet de réduire très significativement les émissions de gaz à effet de serre pour autant que la production d'électricité soit décarbonée. L'association regroupe aujourd'hui 50 membres dont des chantiers navals, des équipementiers, des architectes navals, des sociétés d'ingénierie, des intégrateurs, des opérateurs et des institutionnels avec l'objectif de faire émerger progressivement une véritable filière du bateau électrique, sachant que celle-ci compte déjà 70 navires à passagers (entre 20 et 200 passagers) utilisant des panneaux solaires, des moteurs électriques ou hybrides, et de l'hydrogène, et travaille au développement de solutions électriques applicables aux bateaux de service ainsi qu'au transport fluvial.

---

<sup>115</sup> Source : <https://www.volvopenta.com/marine/products/volvo-penta-ips>

<sup>116</sup> Source : <https://www.beneteau.com/fr/page-innovation/air-stepr>.

<sup>117</sup> Source : <https://www.seair-boat.com/fr/>

L'AFBE propose plusieurs pistes propres à accélérer le développement de la filière :

- des mesures économiques et financières comme l'extension du suramortissement aux navires hybrides rechargeables, comme l'exonération de TVA pour les services de recharge, comme une prime au kW électrique installé ;
- des mesures d'exploitation comme le fait de réserver de 1 % à 5 % de places de ports de plaisance aux bateaux électriques ;
- des mesures environnementales promouvant les navigations sans émission ou à faible niveau d'émission dans certains espaces dédiés comme les parcs marins : le faible niveau d'émission peut aussi être obtenu en créant, dans le respect de la sécurité et de la manœuvrabilité des bateaux (courants, etc.), des limitations de vitesse sur ces espaces marins protégés : en effet en passant de cinq nœuds à 25/30 nœuds la consommation de carburant est multipliée par 30 ;
- des mesures à effet d'entraînement comme l'encouragement par les collectivités territoriales au déploiement de l'usage de bateaux électriques ou hybrides rechargeables sur les flottes publiques ou les flottes opérées en délégation de service public (DSP), avec la création éventuelle de bornes de recharge ;
- des mesures de soutien des efforts de R&D des entreprises françaises cherchant à se positionner sur ce secteur.

### **3.3.5 La stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre**

Une stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre du secteur de la plaisance pourrait alors s'appuyer sur les six axes suivants.

#### *3.3.5.1 Fixer un objectif de long terme de réduction des émissions du secteur*

Cet objectif pourrait être fixé en retenant, comme pour le secteur des transports terrestres et le maritime intérieur et, comme l'envisage la feuille de route de la CCNR, une réduction quasi-totale en 2050 des émissions de ce secteur, entendue sur le cycle carbone de l'énergie utilisée. Un tel objectif implique de ne plus mettre de nouveaux navires de plaisance en service, s'ils ne sont pas neutres en carbone à l'émission à partir d'une date qui pourrait être fixée à 2040, sachant que, pour des raisons de concurrence, ces dispositions doivent être prises au niveau européen.

#### *3.3.5.2 Améliorer la mesure et le suivi des émissions du secteur*

Un travail spécifique avec la FIN, avec le CGDD, la DGITM et le Citepa (voire les principaux ports concernés) pourrait être engagé à cette fin pour réduire le niveau d'incertitude attaché aux émissions de ce secteur et pour mieux suivre l'évolution dans le temps de ces émissions.

#### *3.3.5.3 Mettre en place des incitations économiques encourageant la transition vers la neutralité carbone*

Ces mesures pourraient inciter au remplacement des vieux moteurs par des propulsions plus propres, voire neutres en carbone (à l'exception des moteurs des voiliers qui ne sont qu'une propulsion auxiliaire). Durant la vie d'un bateau, le(s) moteur(s) de propulsion est(sont) en effet changé(s) à plusieurs reprises à la différence des véhicules terrestres.

#### *3.3.5.4 Développer les places réservées dans les ports de plaisance aux bateaux neutres en carbone*

L'idée consiste à développer progressivement le pourcentage des places réservées dans les ports de plaisance aux bateaux neutres en carbone en assurant les réseaux de charge et l'approvisionnement du carburant concerné.

#### *3.3.5.5 Accroître sensiblement le périmètre des zones à faibles ou très faibles émissions*

L'accroissement du périmètre des zones à faibles ou très faibles émissions favorisera le développement des motorisations alternatives et hybrides. Les zones à très faibles émissions (impliquant une disparition quasi-entière des émissions de CO<sub>2</sub>) pourraient en particulier être étendues à certains espaces dédiés comme les parcs marins. Un faible niveau d'émission pourrait être obtenu en créant des limitations de vitesse dans des zones maritimes bien délimitées et contrôlées : en effet en passant de 25/30 nœuds à cinq nœuds la consommation de carburant, et donc les émissions de gaz à effet de serre, peuvent être réduites par un facteur 25 à 30.

#### *3.3.5.6 Promouvoir auprès des collectivités territoriales le déploiement des bateaux neutres en carbone dans les flottes publiques ou dans les flottes opérées en délégation de service public*

La promotion auprès des collectivités territoriales de l'intérêt d'un encouragement au déploiement de l'usage de bateaux électriques, hybrides rechargeables ou neutres en carbone, dans les flottes publiques ou les flottes opérées en DSP avec la création éventuelle de bornes de recharge devrait favoriser le développement de ces bateaux.

## 4 La stratégie de décarbonation du secteur fluvial

Ce chapitre se propose d'aborder successivement cinq sujets :

- dresser un rapide panorama des émissions du secteur fluvial pour en situer l'importance en France et en Europe depuis 1990 (4-1) ;
- rappeler les enjeux du secteur fluvial en France (4-2) ;
- examiner comment ce mode de transport est envisagé dans la stratégie nationale bas carbone (4-3) ;
- explorer les chemins à prendre pour décarboner le transport fluvial (4-4) ;
- rappeler les initiatives prises par le Gouvernement en accord avec les professionnels pour engager la transition énergétique et la décarbonation progressive du secteur fluvial (4-5).

Ce rapide tour d'horizon sur ces cinq sujets permettra alors d'esquisser une proposition de stratégie de décarbonation que la mission a partagée avec le groupe d'accompagnement et certains des acteurs économiques du secteur (4-6).

### 4.1 Rétrospective des émissions du secteur fluvial de 1990 à 2018

Pour le transport maritime, les émissions sont estimées en France selon une méthode *top-down*, qui part des soutes chargées en France et réparties de façon assez simplifiée entre soutes internationales et domestiques. Par contre pour le transport fluvial, la répartition entre trafic domestique et international se fait à partir des trajets des bateaux recensés chaque année en tonnes-kilomètres selon un inventaire régulièrement établi par VNF et transmis à la commission des comptes transports de la nation (CCTN).

**E4.a1 Transport fluvial de marchandises par type de transport (e)**  
millions de tonnes-kilomètres

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
National	4 267	3 150	4 141	4 640	5 015	4 600	4 170	3 963	4 219
International	2 897	2 715	3 120	3 216	3 045	2 861	2 666	2 751	2 483
Total	7 164	5 865	7 260	7 856	8 060	7 461	6 836	6 715	6 702

Source : VNF

**Tableau 6** : évolution du transport fluvial de marchandises entre 1990 et 2018<sup>118</sup>

Les consommations de carburants sont alors calculées en multipliant l'intensité énergétique (exprimée en grammes de carburant par tonne kilomètre) par les tonnes-kilomètres enregistrées par VNF sur l'ensemble du réseau fluvial. En recourant ensuite à des émissions unitaires de gaz à effet de serre ou de polluants atmosphériques par gramme de carburant consommé, on peut alors fournir des émissions du secteur fluvial en distinguant le trafic domestique et international.

<sup>118</sup> Source : VNF

source : Citepa/inventaire CCNUCC-édition avril 2020  
périmètre : Métropole

TRAFIC FLUVIAL DOMESTIQUE											
type	unité	rubric	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
CH4	t	DOM	11,97	9,02	11,52	12,69	13,52	11,39	10,28	9,71	10,28
CO2	kt	DOM	126,68	95,49	121,86	134,24	143,12	120,51	108,77	102,73	108,84
N2O	t	DOM	3,19	2,41	3,07	3,38	3,61	3,04	2,74	2,59	2,74
CO2e	kt	DOM	127,93	96,44	123,06	135,57	144,53	121,70	109,85	103,74	109,91

TRAFIC FLUVIAL INTERNATIONAL											
type	unité	rubric	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
CH4	t	INT	8,13	7,78	8,68	8,79	8,21	7,08	6,57	6,74	6,05
CO2	kt	INT	86,02	82,29	91,80	93,05	86,88	74,94	69,54	71,32	64,05
N2O	t	INT	2,17	2,07	2,31	2,34	2,19	1,89	1,75	1,80	1,61
CO2e	kt	DOM	86,87	83,10	92,71	93,96	87,74	75,68	70,23	72,02	64,68

EMISSIONS TRAFIC FLUVIAL TOTAL											
type	unité	rubric	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
CH4	t	INT	20,10	16,80	20,19	21,48	21,73	18,47	16,85	16,45	16,34
CO2	kt	INT	212,70	177,78	213,66	227,29	230,00	195,45	178,32	174,04	172,89
N2O	t	INT	5,36	4,48	5,38	5,73	5,80	4,93	4,49	4,39	4,36
CO2e	kt	DOM	214,80	179,54	215,77	229,53	232,27	197,38	180,08	175,76	174,59

**Tableau 7** tableau des émissions de méthane, de gaz carbonique, de protoxyde d'azote et de CO2e du trafic fluvial depuis 1990

Le rapport Citepa/Secten de 2020 effectuée pour la première fois la distinction entre transport maritime domestique et international, transport fluvial domestique et international, et plaisance (en reconstituant les séries longues depuis 1990). On obtient donc pour le transport fluvial de marchandises les données ci-dessus.

On constate ainsi que, si le trafic fluvial de marchandises en France exprimé en tonnes-kilomètres a régressé de 6,45 % de 1990 à 2018 en passant de 7,16 Gtk à 6,70 Gtk, les émissions de CO<sub>2</sub>e ont diminué de 18,72 %, ce qui traduit une efficacité énergétique accrue due en partie à l'accroissement des capacités d'emport des unités fluviales et sans doute aussi aux évolutions de motorisation, mais celles-ci sont progressives. Au total les émissions de GES du transport fluvial de marchandises représentent moins de 1 % des émissions du secteur des transports (source CCTN)<sup>119</sup>.

## 4.2 Les enjeux des transports fluviaux en France

Le secteur des transports fluviaux en France peut être décrit succinctement de la façon suivante<sup>120</sup> en 2019.

### *S'agissant du transport fluvial de marchandises :*

- un trafic en tonnage de 56,3 Mt avec une dominance des matériaux de construction et le sel (45 %), l'agroalimentaire et les engrais (28 %), le reste se répartissant entre produits énergétiques et chimie (13 %), la métallurgie et les conteneurs/colis lourds à parts égales (7 % chacun) ;
- un trafic fluvial national exprimé en tonnes-kilomètres de 7,4 Gtk (8,0 Gtk en y ajoutant le fluvio-maritime et le trafic rhénan) qui retrouve le niveau de 2015, dont 4,6 GtK en national et 2,8 Gtk en international hors trafic rhénan ;

<sup>119</sup> Pour une bonne lecture du tableau des émissions noter que si les émissions de gaz carbonique sont exprimées en milliers de tonnes (kt), les autres émissions sont exprimées en tonnes

<sup>120</sup> Source VNF- le chiffres du transport fluvial en 2019

- la flotte se modernise mais à un rythme lent puisque la durée d'utilisation des unités fluviales s'établit autour de 30 à 40 ans, contre 5 à 10 ans pour le routier et 20 à 30 ans pour le maritime, encore que la modernisation des moteurs puisse s'opérer plus rapidement (leur taux de renouvellement est plutôt de 10-15 ans, sans *rétrofit* possible compte tenu de son strict encadrement). Composée d'environ 1000 unités, sa capacité moyenne d'empport se situe autour du millier de tonnes. Cette capacité s'est fortement accrue au cours des deux dernières décennies, les plus petits bateaux au gabarit Freycinet étant remplacés par des unités de plus grand gabarit ;

#### ÉTAT DES LIEUX ET ACTIVITÉ DE LA FLOTTE FLUVIALE

	Nombre d'unités	Milliers de tpi	Évolution tpi 2019/2018
1 500 t et plus	234	564,8	1,8 %
de 1 000 t à 1 499 t	144	177,8	3,8 %
de 400 t à 999 t	364	238,0	- 2,3 %
moins de 400 t	300	111,2	- 0,9 %
<b>Total flotte fluviale</b>	<b>1 042</b>	<b>1 091,8</b>	<b>0,9 %</b>
dont part de vrac sec	96 %	92 %	1,0 %
dont part de vrac liquide	4 %	8 %	- 1,9 %

Figure 15 : Etat des lieux et activité de la flotte fluviale<sup>121</sup>

- un réseau de 6700 km de voies navigables, dont 1700 km accessibles à la navigation à grand gabarit si bien que la notion même de réseau renvoie d'abord au réseau Freycinet à petit gabarit de la fin du XIXème comme l'illustre la carte des voies navigables françaises donnée par VNF dans ses chiffres du transport fluvial ;



Figure 16 : le réseau du fret fluvial de VNF<sup>122</sup>

- la principale raison de cette stagnation du trafic sur les vingt dernières années est à rechercher

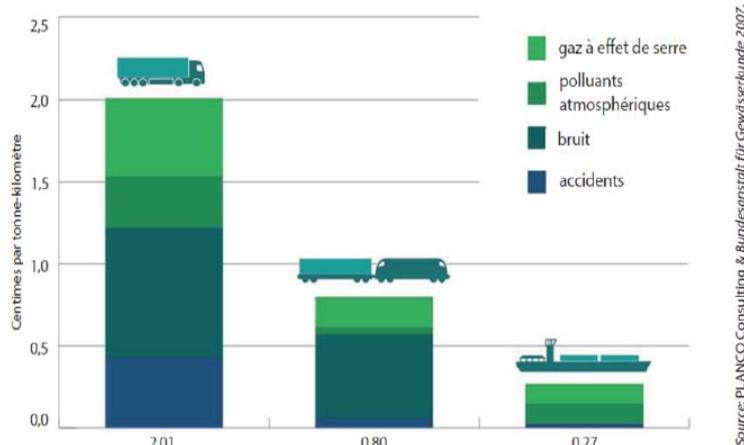
<sup>121</sup> Ibidem

<sup>122</sup> Ibidem

autour de plusieurs causes si l'on prend pour source une note récente de l'ISEMAR<sup>123</sup> : « faiblesse du portage politique, réseau vieillissant et insuffisamment interconnecté, concurrence forte du transport routier; schéma logistique considéré parfois comme trop contraignant par les chargeurs... » ;

- de plus, un certain nombre de freins institutionnels et économiques entravent le recours au report modal : insuffisante prise en compte des externalités négatives du mode routier; distorsion de concurrence entre les modes pour la manutention dans les ports maritimes, généralisation du 44 tonnes ;
- l'interconnexion des réseaux du bassin de la Seine avec le réseau européen des voies navigables, grâce au projet Seine-Escaut, devrait améliorer sensiblement la situation au terme de la décennie actuelle, de même que les avantages potentiels en termes de coûts externes, comme le mentionne l'ISEMAR, même si la logistique fluviale doit tenir compte de ruptures de charge qui en limitent l'accès au bord des voies aménagées ;
- il convient aussi de mentionner le rôle privilégié que joue le transport fluvial dans sa capacité à pénétrer au cœur des agglomérations traversées par des voies d'eau, ce qui favorise une logistique urbaine massifiée.

**Les avantages potentiels de la navigation intérieure sur le plan des coûts externes (en centimes d'€ par t-km) et de la capacité de transport, Rapport Cour des comptes européenne, 2015**



**Figure 17 : les coûts externes des différents modes de transport terrestres<sup>124</sup>**

### ***S'agissant du transport fluvial de passagers***

- l'activité française de transport de passagers (excursion journalière, croisière, bacs et *ferries*) représente 13,9 % du chiffre d'affaire européen dans ce secteur en 2019 (source Eurostat) ;
- la flotte française comporte, en 2019, 326 bateaux d'excursion journalière et 32 bateaux de croisière immatriculés en France. Plus précisément, si l'on tient compte des bateaux immatriculés à l'étranger, la flotte comprend environ 150 bateaux de croisières (dont 22 sur le Rhône, 20 sur la Seine, 6 sur la Gironde et 1 sur la Loire en 2018), ainsi que 89 péniches hôtels.

<sup>123</sup> ISEMAR- note de synthèse n° 212 : « Le transport fluvial en France : une solution logistique d'avenir » - septembre 2019

<sup>124</sup> Source : Rapport Cour européenne des comptes

- le secteur du transport de passagers a connu une forte croissance sur la dernière décennie (augmentation du nombre d'unités et du chiffre d'affaire) mais a souffert des aléas récents impactant l'activité touristique. Le segment d'activité promenade de courte durée, restauration, événementiel est concentré géographiquement en Île-de-France (8 millions de passagers sur 11,3 millions- chiffres 2019).

Au terme de ce panorama rapide du secteur, il est bon d'ajouter que les chantiers fluviaux sont très peu nombreux en France et que le secteur fluvial ne peut bénéficier des effets de série qu'on peut trouver pour les motorisations des unités fluviales, qui sont assez proches de celles du transport routier, notamment pour les types de moteurs (pour les puissances de moins de 400 KW) et pour les carburants. Pour les plus fortes puissances, il n'y a pas d'équivalent routier et, compte tenu du faible nombre de renouvellement des moteurs fluviaux (200 changements de moteurs fluviaux annuellement dans l'ensemble européen), les motoristes sont peu enclins à proposer une offre. De plus au-delà de cette observation, force est de constater la faiblesse de l'ensemble du cluster fluvial (bureaux d'études, équipementiers, fournisseurs...). VNF pourrait accentuer son rôle central dans l'innovation, en liaison avec les pôles de compétitivité mer et CARA, et les échanges avec le GICAN pourraient être accrus de façon à bénéficier de l'effet d'entraînement de la filière maritime afin de contribuer à mieux structurer le cluster fluvial : mais il faut garder à l'esprit que certaines technologies du maritime ne répondent pas au besoin du fluvial. Le GNL en est un exemple : son développement n'a pas pu se faire, compte tenu des difficultés de distribution au bord des voies d'eau. Il semble aujourd'hui inadapté au fluvial qui utilise déjà du carburant à très basse teneur en soufre (ultra-bas soufre) d'autant plus que les contraintes de dégazage sont malaisées à satisfaire.

### 4.3 Le transport fluvial et la stratégie nationale bas-carbone

Le CGDD a procédé à une projection de trafics de marchandises sur l'ensemble des modes terrestres en utilisant le modèle d'affectation de la demande de trafic à long terme Modev lors de l'élaboration de la SNBC 1 en 2016. Pour accompagner cette projection<sup>125</sup>, deux hypothèses ont été prises en compte :

**Tableau 106 : Liste des projets fluviaux pris en compte dans les projections**

	Projets fluviaux	Horizon de prise en compte
1	Seine-Nord-Europe	2030
2	Mise à grand gabarit Seine amont entre Bray-sur-Seine et Nogent-sur-Seine	2030

**Tableau 7** les deux grands projets fluviaux retenus dans les projections de la SNBC

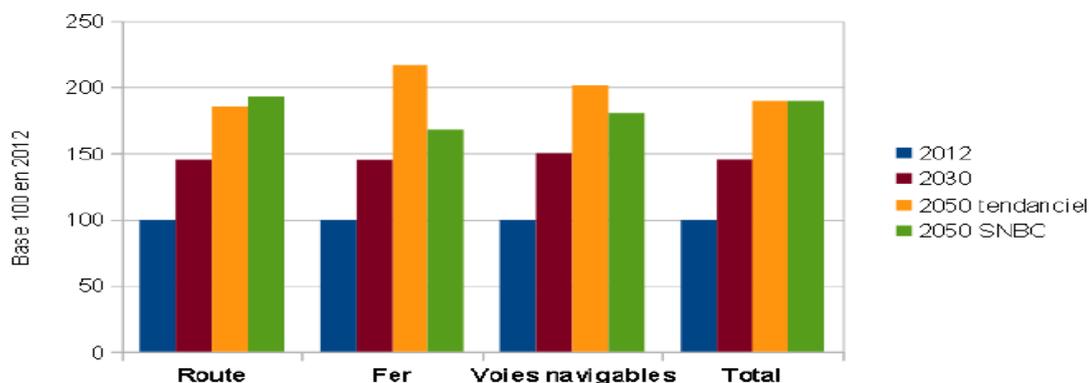
- l'une sur les projets fluviaux pris en compte à l'horizon 2050 de la projection ;
- et l'autre sur la performance énergétique du mode fluvial, qui est supposée gagner 60 % d'efficacité énergétique, grâce aux changements de motorisation et à l'amélioration du taux d'emport des unités fluviales, réputées poursuivre leur croissance en capacité.

Les principaux résultats obtenus à l'horizon 2050 conduisent à un quasi-doublement des tonnes kilomètres du trafic fluvial.

Sont fournies en valeur relative par mode de transport dans la figure 25 les évolutions attendues par mode de 2012 à 2050. Celles du transport fluvial figurent en valeur absolue dans le tableau :

<sup>125</sup> Thema-CGDD-projections de la demande de transport sur le long terme- juillet 2016

**Figure 25 : Principaux résultats des projections de la demande de transport de marchandises**



**Figure 18 : projections de la demande de transport de marchandises de la SNBC**

Trafic national et international sur le territoire français	2012	2050 tendanciel	2050 SNBC
Voies navigables	7,7 Gtk	15,6 Gtk	14,0 Gtk

**Tableau 8 : Evolution des trafics fluviaux à l'horizon 2050 en milliards de tonnes kilomètres (Gtk)**

La part modale du transport fluvial reste à peu près constante à 2,4 % contre 2,5 % en 2012 alors que dans le scénario tendanciel du CGDD, elle croîtrait à 2,7 %.

Il faut noter que cette part modale ne reflète qu'imparfaitement, compte tenu de la géographie du réseau fluvial français, le poids du transport fluvial dans les régions « mouillées ». La part modale peut alors y atteindre les 10 % (Bassin de la Seine, Hauts de France).

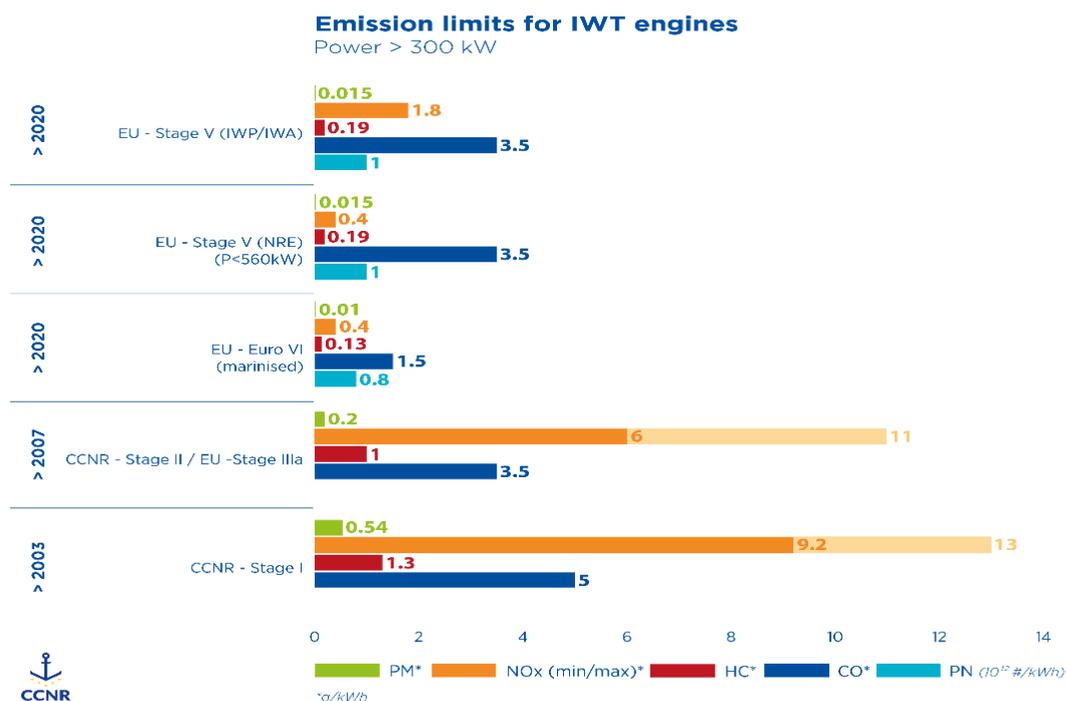
La SNBC 2, adoptée début 2020, prend comme hypothèse une décarbonation complète des transports maritime et fluvial domestiques et une décarbonation à 50 % pour les transports maritimes internationaux.

## 4.4 Les chemins de la décarbonation et de la réduction des émissions atmosphériques du transport fluvial

Avant d'aborder le sujet de la décarbonation et de la réduction des émissions, il n'est pas inutile d'examiner le chemin parcouru, comme la Commission Centrale pour la navigation sur le Rhin (CCNR) l'a montré lors de sa présentation du 3 juillet 2020 au groupe d'accompagnement mis en place à la mi-juin avec les administrations centrales (DAM et PTF).

### 4.4.1 La réduction des polluants

La dernière étape est formalisée dans le règlement sur les limites d'émission des moteurs des engins mobiles non routiers (règlement EMNR – 2016/1628 UE) qui s'applique aux moteurs mis sur le marché à partir du 1er janvier 2019, lorsque leur puissance est inférieure à 300 kW, et à ceux de plus de 300 kW, comme l'illustre la figure ci-dessous, à partir du 1er janvier 2020.



**Figure 19** : récapitulatif CCNR des évolutions depuis 2003 des limites autorisées des émissions des moteurs de navigation intérieure

L'effort a donc porté sur la réduction des NOx et sur les particules fines dont les normes d'émissions ont été réduites, de 2003 à aujourd'hui, de 3,5 pour les NOx et d'un facteur supérieur à dix pour les particules fines sans que jusqu'ici un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre n'ait été déterminé.

Les chemins postérieurs envisagés ont été débattus par la mission avec les transporteurs fluviaux et avec les gestionnaires d'infrastructures que sont VNF et CNR grâce au groupe d'accompagnement mis en place à la mi-juin avec la DAM et PTF.

#### 4.4.2 La réduction des émissions de gaz à effet de serre

Comme dans le maritime, la réduction des émissions de gaz à effet de serre va passer par des gains en efficacité énergétique à la conception et en exploitation : ce seront ces gains qui représenteront l'essentiel des réductions d'émissions dans une phase de transition vers la neutralité carbone. Cependant, à terme, le fluvial, comme le maritime, devra recourir à des carburants neutres en carbone. La difficulté aujourd'hui réside dans le fait qu'il n'y a pas de solution qui s'impose naturellement à terme.

On peut simplement dire que le recours à l'électricité pour les bateaux et navires effectuant des courts trajets, comme le *short sea shipping* ou les *ferries* pour le maritime, ou ceux pouvant effectuer des arrêts réguliers pour se recharger, paraît la meilleure solution en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Comme le souligne l'Ademe<sup>126</sup>, il est en effet possible d'estimer le rendement de la chaîne hydrogène, de sa production par électrolyseur à son usage en pile à combustible, à 25 % environ, valeur qui peut varier selon la nécessité ou non de le comprimer pour son usage. Dès lors, « l'efficacité du stockage par batterie, qui présente un rendement de conversion de l'ordre de 70 %<sup>127</sup>, doit ainsi conduire à privilégier ce type de stockage, lorsque cela est techniquement et économiquement envisageable, c'est-

<sup>126</sup> [https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/rendement-chaine-h2\\_fiche-technique-02-2020.pdf](https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/rendement-chaine-h2_fiche-technique-02-2020.pdf)

<sup>127</sup> L'utilisation de charges lentes et des batteries lithium-ion permet d'atteindre des rendements plus élevés (85 %).

à-dire ajusté aux conditions d'usage souhaité (durée de stockage, dimensionnement, temps de recharge...) ».

Cette technique n'est cependant pas encore rentrée dans une phase de déploiement industriel pour le fluvial : les standards de recharge dans l'électricité (plus d'un MWe) pour des engins de forte puissance sont en cours de développement (principalement pour les poids lourds), même si certains fournisseurs proposent déjà des solutions. Le chargement de conteneurs à bord de navires de petite taille contenant le carburant (électricité ou hydrogène) peut également être une solution pour des trajets courts. En outre, le poids et le coût des batteries diminuent très rapidement année après année, ce qui rend difficile la comparaison entre les différentes technologies.

#### Le déploiement de l'électricité dans la propulsion des bateaux

Si l'électricité a été jusqu'à présent essentiellement considérée comme une énergie permettant l'approvisionnement à quai des bateaux, les progrès techniques permettent désormais de l'envisager également comme système de propulsion. 70 bateaux électriques de passagers et de marchandises, existent déjà en France pour la navigation fluviale, côtière ainsi que sur des lacs<sup>128</sup>. La CCNR<sup>129</sup> et le port de Rotterdam<sup>130</sup> évoquent ainsi la mise en service de porte-conteneurs électriques à batteries :

a) de la part de la société Portliner<sup>131</sup> dans les ports de Rotterdam et d'Anvers : d'une longueur de 110 mètres et d'une largeur de 11,45 mètres, ils peuvent emporter 280 conteneurs. Ils utilisent à cet effet des batteries de 7,2 MWh ce qui leur donne une autonomie de 35 heures : leur recharge pourrait s'effectuer soit directement en quatre heures ou par le remplacement du conteneur dans lequel elles seront placées ;

b) de la part de la société ZES<sup>132</sup> avec la mise en place d'un système d'échange de conteneurs contenant les batteries : Heineken et le transport de la bière devraient en être le premier client.

La vitesse va constituer un élément important du dimensionnement de la batterie : ainsi une réduction d'un tiers de la vitesse (qui augmente d'autant la durée d'un trajet) permet à un automoteur de réduire sa consommation d'énergie journalière d'un facteur 3. La vitesse des automoteurs de petit gabarit (type Freycinet) varie ainsi de 6 à 20 km/h en fonction de la voie d'eau empruntée, mais est limitée à 6 km/h sur les petits canaux.

Les biocarburants peuvent également constituer de très bonnes solutions, sous réserve toutefois de leur disponibilité.

### 4.4.3 Le positionnement des acteurs

Pour la profession fluviale, le constat est le suivant :

<sup>128</sup> Voir notamment <https://www.bateau-electrique.com/catalogue/type/realisations-bateaux-electriques-hybrides/>

<sup>129</sup> *Assessment of technologies in view of zero-emission IWT*, page 43 ; DST – Development Centre for Ship Technology and Transport Systems,

[https://www.ccr-zkr.org/files/documents/EtudesTransEner/Deliverable\\_RQ\\_C\\_Edition\\_1\\_Oct2020.pdf](https://www.ccr-zkr.org/files/documents/EtudesTransEner/Deliverable_RQ_C_Edition_1_Oct2020.pdf)

<sup>130</sup> <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/electric-container-ships-for-tilburg-rotterdam-route>

<sup>131</sup> <https://www.portliner.nl/ships/ec110>

<sup>132</sup> <https://www.electrive.com/2020/06/04/battery-swapping-for-dutch-container-ships/>

- la nécessité de participer à l'effort global de réduction de l'empreinte CO<sub>2</sub> et donc du transport fluvial ;
- la pression de plus en plus forte des collectivités pour aller en zone urbaine dense vers des motorisations zéro émissions (polluants locaux) ;
- l'alimentation en énergie électrique des bateaux durant les stationnements à quai peut participer, à échéance très rapprochée et à moindre coût, à la transition énergétique du secteur (70 % du temps pour certains segments d'activités comme les paquebots). Ainsi que VNF le souligne, chaque paquebot branché à quai (hivernage et escales confondus) permet d'économiser 750 tonnes de CO<sub>2</sub>, ce qui a conduit VNF à mettre en place un plan de développement des paquebots fluviaux comme le montre la figure ci-dessous :



**Figure 20** : plan de développement de VNF des bornes électriques pour paquebots fluviaux le long de l'axe Rhône-Saône<sup>133</sup>

En conséquence la stratégie se décline en trois axes :

<sup>133</sup> Source : VNF,

- **Éviter** : le passage en 2011 du fioul domestique à 1000 ppm de soufre a entraîné la nécessité de passer au gazole non routier désoufré ; le passage des moteurs fluviaux au règlement EMNR à partir de 2019-2020 (CO : -30%, HC (imbrûlés) & NOx -72%, -97% pour les particules (en masse) pour les plus gros moteurs).

Des mesures complémentaires passent par le branchement à quai des unités fluviales, par l'extension des unités fluviales multi-lots, par le recours à l'éco-conduite pour améliorer l'efficacité énergétique, laquelle suppose aussi le développement plus complet des services d'information fluviaux (SIF), qui permettent aussi une gestion optimisée du trafic. Concernant les pollutions non gazeuses (huiles, déchets de cargaison), en 2009, une convention internationale relative à la collecte, au dépôt des déchets et à la réception sur l'obligation de la collecte de déchets et d'eaux usées survenant en navigation rhénane et intérieure (CDNI) a été ratifiée. Elle s'applique, aujourd'hui, pour la France sur le Rhin et la Moselle internationale et sur une partie du réseau du Nord Pas-de-Calais, avec une extension à l'ensemble du territoire mise à l'étude ;

- **Réduire** : la déclaration de Mannheim de 2018 signée des cinq États Rhénans (République fédérale d'Allemagne, Royaume de Belgique, République française, Pays-Bas et Confédération suisse), à l'occasion du 150<sup>ème</sup> anniversaire de la Convention de Mannheim réglementant la navigation sur le Rhin est un acte important : cette déclaration fixe pour la première fois des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le transport fluvial : elle demande ainsi à la Commission centrale pour la navigation du Rhin (CCNR) de mettre au point une feuille de route visant :

- une réduction des GES et des émissions polluantes de 35 % en 2035 ;
- une réduction quasi-totale des émissions en 2050.

Elle rejoint en cela les objectifs de la SNBC qui prévoient également la neutralité carbone du secteur à 2050, mais elle va plus loin puisque la SNBC ne retient cet objectif que pour le fluvial domestique, alors que la déclaration de Mannheim l'envisage sur l'ensemble du bassin rhénan et donc pour le fluvial international, ce qui conduit à envisager la neutralité carbone à cet horizon de tous les bateaux, y compris des plus puissants.

La réduction est aussi favorisée par l'augmentation de la capacité d'emport des unités fluviales ;

- **Supprimer** : La recherche des solutions hydrogène et électricité est privilégiée, sachant que le BV a réalisé pour le groupe d'accompagnement un bilan comparatif des avantages et des inconvénients des différentes solutions technologiques, présenté ci-dessous :

Combustible	Technologie	Avantage principal	Inconvénient principal	Projets
GNL		Disponible en quantité	Emission CH4	oui
Hydrogène	Injection / pile à combustible	Zéro Carbone	Coût	oui
Batteries				oui
Méthanol		Coût		oui
<i>Autres:</i>				
NH3	Injection / pile à combustible	Zéro Carbone		non
FC LNG				non
CNG				non

Décarbonation– 12.Leviers technologiques pour le fluvial – 03.07.2020

**Tableau 9 :** présentation du Bureau Veritas au groupe d'accompagnement de la mission décarbonation du 3 juillet 2020

Ce tableau est à mettre en regard avec celui établi pour les batteries :

#### 4.1. Système de batteries



► Les batteries Marine sont disponibles en 4 types différents:

Type de batterie	Avantages	Inconvénients
Ouverte (Flooded)	Bas prix Robuste, fiable Courant élevé Recyclé	Entretien Lourd et encombrant Surchauffe pendant charge Pas de charge rapide Produits chimiques toxiques
Sèche au gel (Gelled electrolyte)	Pas de pertes	Pas de charge rapide Charge à basse tension
Sèche AGM (Absorbed Glass Mat)	Pas de fuite Non dangereux Pas les dommages de gel Aucune limite de courant de charge / décharge Aucun entretien	Coût (environ deux fois plus)
Lithium	Poids léger Haute densité d'énergie Faible taux d'autodécharge Faible entretien	Besoin de protection Vieillessement Coût Analyse de risque

**Tableau 10 :** présentation du Bureau Veritas au groupe d'accompagnement de la mission décarbonation du 3 juillet 2020

La feuille de route de la transition écologique et de la décarbonation du transport fluvial destinée à

réduire l'empreinte environnementale de la navigation intérieure, s'articule autour de deux axes :

- la réduction des émissions polluantes, grâce notamment au déploiement de solutions énergétiques bas carbone et au développement des branchements électriques à quai ;
- une meilleure gestion des déchets et des eaux usées de la navigation intérieure.

Les solutions de transition étudiées sont nombreuses. VNF recense avec la CNR les suivantes :

- l'hybridation pour le secteur fluvial (diesel électrique) ;
- la location de bateaux habitables électriques ;
- l'expérimentation d'un moteur routier EMNR sur un bateau de travail de VNF, sachant que la liste des moteurs <sup>134</sup> stage V disponibles en Europe est accessible sur le site <https://listes.cesni.eu/> ;
- le test du GTL sur la vedette « Le Rhône », adapté aux moteurs lents, et adopté actuellement par plusieurs opérateurs de paquebots fluviaux et de promenade de courte durée ;
- un projet ORC<sup>135</sup> de récupération de chaleur ;
- des expérimentations en cours par la Compagnie fluviale de transport (CFT) qui utilise sur la Seine un biocarburant entièrement composé de colza : l'Oleo 100. Celui-ci n'était pour le moment proposé qu'aux transporteurs routiers ;
- des projets de pousseurs hydrogène (CFT, CEMEX) ;
- un projet expérimental de propulsion au gaz appelé Fluidis.

## 4.5 Les initiatives déjà prises ou en cours pour engager la transition énergétique et la décarbonation progressive du secteur fluvial

Une fois rappelé le volet mobilité propre de la PPE (4-5-1), les leviers destinés à faire évoluer le transport fluvial dans le sens de la décarbonation et de la réduction des émissions atmosphériques polluantes peuvent être regroupés en quatre types au niveau national :

- l'ECV du fluvial en cours de mise au point au premier trimestre 2021 (4-5-2) ;
- les mesures d'incitation économiques (4-5-3) ;
- les mesures fiscales (4-5-4) ;
- les certificats d'économie d'énergie (4-5-5).

Après avoir présenté quelques éléments relatifs au cumul des aides, de leur efficacité et de leur intensité (4-5-6), sont aussi abordées les mesures réglementaires (européennes ou nationales) qui représentent le cinquième levier mobilisable (4-5-7).

---

<sup>134</sup> Huit fabricants sont capables de fournir 19 types différents de moteurs homologués jusqu'à une puissance de 530 KW.

<sup>135</sup> Une machine à cycle organique de Rankine aussi appelée ORC (pour Organic Rankine Cycle en anglais) est une machine thermodynamique produisant de l'électricité à partir de chaleur. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Machine\\_%C3%A0\\_cycle\\_organique\\_de\\_Rankine](https://fr.wikipedia.org/wiki/Machine_%C3%A0_cycle_organique_de_Rankine)

### 4.5.1 Le volet mobilité propre de la PPE

Le volet mobilité propre de la PPE<sup>136</sup> rappelle que « les orientations stratégiques pour le développement des mobilités propres découlent de l'objectif de neutralité carbone qui implique une très forte ambition pour réduire la demande énergétique du secteur, nécessitant des efforts accrus d'efficacité énergétique. Il nécessite une décarbonation quasi-complète du secteur des transports terrestres, fluviaux et maritimes domestiques, soit par passage à des motorisations électriques, soit par passage aux carburants alternatifs décarbonés (en analyse du cycle de vie) ».

« Pour le segment fluvial, la France se fixe le même objectif de tendre vers une flotte neutre en carbone à horizon 2050 (loi d'orientation des mobilités). Au regard des contraintes spécifiques au transport fluvial, notamment de la durée de vie importante des unités, un enclenchement de la transition énergétique de la flotte dès 2020 sera nécessaire pour assurer la décarbonation du transport fluvial à l'horizon 2050, avec des solutions adaptées à chaque segment de flotte (transport de marchandises, transport de passagers en distinguant croisière avec hébergement et excursion journalière, pêche professionnelle en eaux intérieures, bateaux de services effectuant des opérations régaliennes – entretien, police, secours – sur les voies de navigation intérieure) ».

### 4.5.2 Engagement pour la croissance verte (ECV) du fluvial

L'engagement pour la croissance verte (ECV) du transport fluvial qui est fortement appuyé par les acteurs économiques du transport fluvial est organisé pour une durée de quatre ans de 2021 à 2024 et articulé autour de cinq sujets :

- **1-Définir les objectifs de la « transition écologique du secteur fluvial »** : un travail préalable est nécessaire pour rassembler les connaissances et outils nécessaires pour préparer la transition écologique du secteur fluvial qui passe par deux étapes : un état des lieux préalable (état des flottes, des motorisations, émissions polluantes, dispositifs de financement...) ainsi que l'élaboration d'une feuille de route de la transition énergétique du secteur fluvial (trajectoires d'évolution des émissions, meilleure intégration du fluvial dans les programmes globaux de transition énergétique...);
- **2-Réduire les émissions polluantes du transport fluvial pour les motorisations existantes** : il s'agit d'engagements permettant de réduire les émissions polluantes de la navigation intérieure à court terme, dans l'état actuel des flottes, grâce à l'évolution des pratiques et l'utilisation de carburants de substitution. À cet égard, on peut mentionner les kits de dépollution qui pourraient être installés sur les moteurs CCNR2 les plus récents<sup>137</sup>, car ces moteurs peuvent encore être déployés de nombreuses années ;
- **3-Déployer l'alimentation électrique à quai** : il s'agit d'inciter les gestionnaires d'infrastructures linéaires ou les ports fluviaux à mettre en place un raccordement électrique à quai des unités fluviales, en remplacement du fonctionnement de groupes électrogènes de bord : des dispositions spécifiques ont été prises à ce sujet dans la LOM et en loi de finances 2020. L'objectif consiste à obtenir une forte réduction des émissions polluantes et des nuisances au stationnement, notamment en zone urbaine. En effet, les grandes agglomérations bien desservies par la voie fluviale comme Paris ou Lyon se dotent de zones à faible niveau d'émissions réglementant les émissions des véhicules routiers, si bien qu'il est difficile de penser que ces

---

<sup>136</sup> <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20200422%20Programmation%20pluriannuelle%20de%201%207e%CC%81nergie.pdf>

<sup>137</sup> Ces kits de pollution peuvent être installés si et seulement s'ils ne modifient pas le fonctionnement du moteur et donc son agrément. Par ailleurs, il n'existe pas de méthode reconnue pour valider le bon fonctionnement (i.e. Réduction des émissions) de tels systèmes. Enfin, le coût d'investissement est important (y compris modification en salle des machines) par rapport au prix d'un moteur neuf. Si le moteur existant casse, alors le système de *réetrofit* est aussi perdu (et les investissements privés / subventions publiques associés).

restrictions ne seront pas étendues ultérieurement aux autres modes de transport, dont le transport fluvial. Il convient de rappeler à cet égard la fiche d'opération standardisée pour les certificats d'économie d'énergie qui inclut désormais dans le dispositif des CEE la mise en place d'une infrastructure d'alimentation électrique dans les ports fluviaux<sup>138</sup> ;

- **4-Préparer le déploiement des solutions énergétiques bas carbone en navigation intérieure.** Il s'agit d'engagements de plus long terme visant à préparer la navigation intérieure à l'atteinte de l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050, par l'expérimentation de solutions énergétiques innovantes et des travaux prospectifs ;
- **5-Maitriser l'empreinte environnementale de la navigation intérieure.** De façon plus large, ce volet de l'ECV couvre les engagements visant à réduire l'impact environnemental de la navigation intérieure au-delà des émissions des moteurs, notamment concernant la collecte et le traitement des déchets, le cycle de vie des bateaux, etc...

### 4.5.3 Les mesures d'incitation économique

Le modèle économique du secteur fluvial, qui correspond à un marché étroit et à des durées de vie des bateaux dépassant fréquemment la cinquantaine d'années, ne favorise pas l'innovation et tend à retarder la mise en œuvre de la transition énergétique dans le secteur fluvial. Le changement de motorisation (EMNR) ou l'expérimentation de nouvelles solutions (motorisation électrique alimentée par piles à combustible, etc...) entraîne un surcoût d'investissements de maintenance non évaluable et non maîtrisé, pour les projets pilotes, à ce stade. D'où la nécessité d'accompagner davantage, dans une phase de démonstration, les acteurs par des dispositifs d'aides directes ou fiscales.

Même avec des technologies matures et éprouvées, la transition énergétique de la flotte se fera à des coûts supérieurs en investissement et en maintenance / exploitation par rapport aux technologies actuelles et pourra nécessiter un accompagnement financier et fiscal de la filière. Un renforcement progressif des contraintes sur le niveau d'émission des bateaux en exploitation (à l'exemple de ce que fait l'OMI) ou la mise en place d'un signal prix carbone explicite permettrait de diminuer ce différentiel de coût.

**Le Plan d'aide à la modernisation et à l'innovation (PAMI)** du secteur fluvial couvre la période 2018-2022. D'un montant maximal de 18,5 M€ pour cette période de cinq ans, il comporte quatre volets principalement orientés vers les transporteurs fluviaux dont deux d'entre eux les volets A et D concernent le renouvellement et la modernisation de la flotte :

- **volet A** : améliorer la performance environnementale de la flotte (8M€) avec notamment l'objectif de réduire les consommations énergétiques et les émissions polluantes, soit grâce à des remotorisations, soit en améliorant l'hydrodynamique de la coque, soit en optimisant la consommation d'énergie (éco-conduite) ;
- **volet D** : il s'agit de favoriser l'émergence des solutions technologiques innovantes mais les plafonnements introduits la rendent peu attractive au regard des investissements à réaliser, notamment pour des démonstrateurs performants encore que ces plafonds se situent en-deçà des plafonds autorisés par le règlement d'exemption par catégorie pour les petites entreprises, à savoir 60 % du projet.

En outre le PAMI est également cofinancé par l'ADEME (4,2 M€ sur 2019-2021) et les régions. D'autres financements peuvent être obtenus via les appels à projets du PIA pour soutenir l'innovation (ADEIP, CI), et les AAP ADEME pour améliorer les connaissances ou expérimenter (CORTEA, AQACIA).

---

<sup>138</sup> L'arrêté du 24 juillet 2020 a créé la fiche d'opération standardisée TRA-EQ-124 "Branchement électrique des navires et bateaux à quai" dans le secteur du transport concernant la mise en place d'une infrastructure d'alimentation électrique permettant l'approvisionnement en électricité d'un bateau ou navire fluvial en escale dans un port.

Le bilan du plan fournit les données suivantes :

	2008 - 2012	2013 - 2017	2018	2019	2020 - 2022
Plafond de l'aide VNF				100 k€	150 k€
Plafond de l'aide PAMI tous financeurs publics confondus	60 k€	70 k€	100 k€	200k€	300 k€
Intensité de l'aide VNF				40 %	40 %
Intensité de l'aide PAMI tous financeurs publics confondus	30 %	30 %	40 %	50%	50 % voire 60 % (sur certains secteurs)

**Tableau 11** financements mis en place dans le cadre du PAMI

Le PAMI a évolué au 1er juillet 2020 avec l'ouverture des volets A et D aux opérateurs de transport de passagers et l'introduction d'une progressivité de l'intensité de l'aide en faveur des plus petites entreprises. Le budget a été également réévalué grâce à la participation de l'ADEME, des régions IDF, PACA et Normandie et de celle à venir de la CNR.

Par ailleurs, la CCNR a publié en octobre 2020<sup>139</sup> des études qui représentent des résultats intermédiaires sur le financement de la transition énergétique du secteur européen de la navigation intérieure, dont une évaluation des technologies disponibles. Ces travaux s'inscrivent dans les engagements de la Déclaration ministérielle de Mannheim (2018) signée par la France. À titre illustratif, l'une des trois études<sup>140</sup> a examiné les modalités de financement d'un *retrofit* des bateaux de capacité variée pour leur permettre de passer à des motorisations électriques. Ce tableau ne comprend donc pas les coûts de la batterie ou de la pile à combustible, ni ceux de la motorisation. Cette étude a obtenu les résultats suivants :

**Table 2: Capability of vessels to invest in technologies that work towards zero emission.**

Tonnes	Own capital	Bank financing	Amount needed	Gap	% Grant needed
250 – 400	€ 23,070	€ 119,884	€ 373,713	€ 230,759	61.7%
400 – 650	€ 47,369	€ 97,244	€ 390,045	€ 245,432	62.9%
650 -1000	€ 43,593	€ 122,237	€ 404,772	€ 238,942	59.0%
1000 – 1600	€ 100,492	€ 150,885	€ 434,040	€ 182,663	42.1%
1600 – 2500	€ 138,976	€ 147,539	€ 481,051	€ 194,536	40.4%
> 2500	€ 85,055	€ 264,484	€ 573,118	€ 223,579	39.0%

Source: Panteia (2020), based upon Stichting Abri database and Research Question C inputs

**Tableau 12** : niveaux de financement requis pour faire évoluer les bateaux selon leur taille vers zéro émissions<sup>141</sup>

Un autre résultat peut aussi être mentionné. Le coût total opérationnel de pousseurs de moins de 500 kW selon différents types de propulsion illustre à quel point les solutions de batterie pour ces gammes de puissance restent beaucoup plus coûteuses que les solutions traditionnelles. Ces résultats

<sup>139</sup> <https://www.ccr-zkr.org/12080000-fr.html>

<sup>140</sup> Study on financing the energy transition towards a zero-emission European IWT sector - Deliverable Research question A: "What are the possible triggers and financial drivers to enable a positive investment decision by shipowners to invest in technologies contributing to zero-emission performance?"- Leader Panteia-21-07-2020, [https://www.ccr-zkr.org/files/documents/EtudesTransEner/CCNR\\_RQ\\_A\\_Oct2020.pdf](https://www.ccr-zkr.org/files/documents/EtudesTransEner/CCNR_RQ_A_Oct2020.pdf)

<sup>141</sup> Ibidem

traduisent également le fait que les batteries utilisées pour le fluvial correspondent, pour le moment, à un marché de niche et n'ont pas encore bénéficié de la chute drastique des coûts observés dans le secteur automobile.

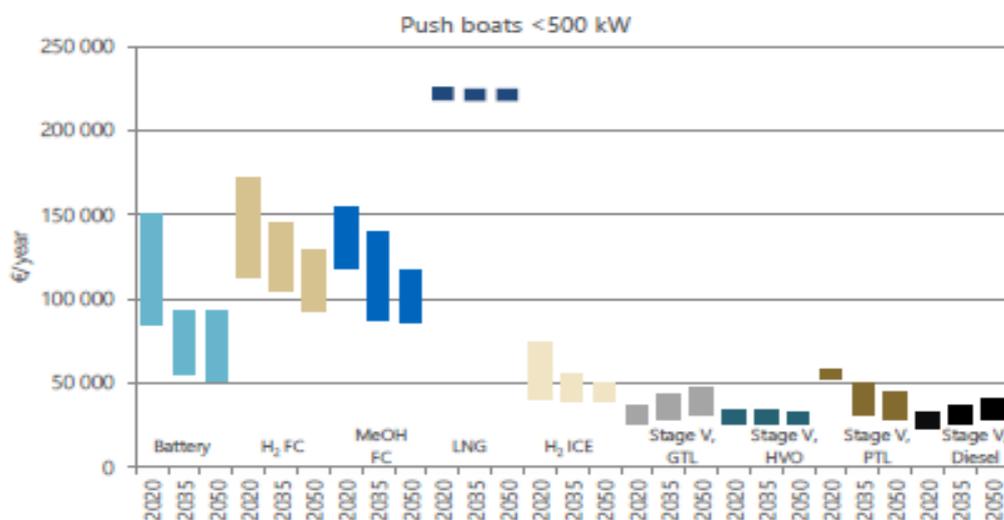


Figure 37: TCO for the type ship of the fleet family push boats with a main propulsion power of less than 500 kW

Figure 21 : Coût complet de possession de pousseurs d'une puissance motrice de moins de 500 kW en fonction de différentes sources d'énergie<sup>142</sup>

#### 4.5.4 Les mesures fiscales

Deux mesures fiscales ont été adoptées.

##### 4.5.4.1 Un dispositif de sur-amortissement (article 39 decies C du code général des impôts)

L'article 48 de la LFI 2020 a instauré, au profit des entreprises soumises à l'impôt sur les sociétés ou à l'impôt sur le revenu, une déduction exceptionnelle en faveur des équipements qui permettent aux bateaux de transport de marchandises et de passagers d'utiliser des énergies propres :

- les équipements qui permettent l'utilisation de l'hydrogène, de l'électricité, de la propulsion vélique ou du gaz naturel liquéfié (GNL) comme mode de propulsion principale ou pour la production d'énergie électrique destinée à la propulsion principale ;
- les biens destinés au traitement des oxydes de soufre, oxydes d'azote et particules fines contenus dans les gaz d'échappement ;
- les biens destinés à l'alimentation électrique durant les escales par le réseau terrestre ou au moyen de moteurs auxiliaires utilisant le GNL ou une énergie décarbonée ;
- les biens destinés à compléter la propulsion principale par une propulsion décarbonée.

Pour les biens faisant l'objet d'un contrat de crédit-bail ou d'un contrat de location avec option d'achat,

<sup>142</sup> Source : *Assessment of technologies in view of zero-emissions IWT*, Part of the overarching study : "Financing the energy transition towards a zero-emission European IWT sector", CCNR /Swiss delegation study, Edition 1 of deliverable C on the greening techniques which fit into zero-emission development of IWT, <https://www.ccr-zkr.org/12080000-en.html>

la déduction exceptionnelle peut être pratiquée par l'entreprise crédit-preneuse ou locataire, le taux de la déduction exceptionnelle est de :

- 125 % pour les équipements destinés à la propulsion principale des navires et des bateaux éligibles (hydrogène, électrique, solution décarbonée) ;
- 105 % pour les équipements destinés à la propulsion principale des navires et des bateaux éligibles (GNL) ;
- 85 % pour les biens destinés au traitement des émissions polluantes ;
- 20 % pour les biens destinés à l'alimentation électrique durant les escales.

Cette disposition est applicable pour les contrats conclus à compter du 1er janvier 2020 et jusqu'au 31 décembre 2022.

#### *4.5.4.2 L'application d'un taux réduit de Taxe intérieure sur la consommation finale d'électricité (TICFE) pour l'alimentation électrique à quai*

L'article 66 de la LFI 2020 a modifié l'article 266 quinquies C du code des douanes. Cette mesure fiscale vise à appliquer un tarif réduit de taxation de l'électricité directement fournie aux bateaux de navigation intérieure et aux navires maritimes se trouvant à quai via l'utilisation de borne électrique. Ainsi le taux de TICFE passera de 22,5 € le mégawattheure à 0,5 €. Elle vise à rendre plus attractif économiquement l'utilisation des bornes électriques par les transporteurs fluviaux.

Cette disposition nécessite une décision d'autorisation du Conseil de l'UE. Une demande a été formulée en 2019 par la France. La proposition de décision correspondante a été adoptée par la Commission européenne le 14 septembre 2020 (COM (2020) 498 final 2020/0255) et le Conseil a pris la décision le 29 octobre 2020. Cette autorisation est valable pour une période de six ans commençant en 2021 et allant jusqu'à 2026 inclus<sup>143</sup>. Le décret d'application n°2020-1730 du 28 décembre 2020 fixe l'entrée en vigueur des dispositions du I de l'article 66 de la loi n°2019-1479 du 28 décembre 2019 de finances pour 2020 au 1<sup>er</sup> janvier 2021.

#### **4.5.5 Les certificats d'économie d'énergie (CEE)**

Ce système de financement, qui n'est pas considéré comme une aide d'État, fonctionne sur la base d'obligés (fournisseurs d'électricité, de gaz, de fioul domestique, distributeurs de carburants...) qui sont les acteurs soumis à une obligation d'économies d'énergie à prouver par l'obtention de CEE via notamment les fiches d'opération standardisée et le financement de projet d'économie d'énergie dans d'autres secteurs.

Plusieurs fiches d'opération standardisée existent actuellement dans le domaine du transport fluvial :

- acquisition d'une unité de transport intermodal(UTI) fleuve-route neuve (TRA-EQ-107) ;
- acquisition d'une barge neuve pour le transport de marchandises (TRA-EQ-109);
- acquisition d'un automoteur fluvial neuf (TRA-EQ-110) ;
- acquisition de matériel de mesure des consommations de carburants pour une unité fluviale (TRA-SE-106) ;
- opérations de carénage sur une unité de transport fluvial (TRA-SE-107) ;

---

<sup>143</sup> Décision d'exécution (UE) 2020/1629 du Conseil du 29 octobre 2020, pour la période 2021 à 2026 inclus. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32020D1629&from=FR>

- installation d'une hélice avec tuyère sur une unité fluviale (TRA-EQ-120) ;
- remotorisation d'une unité de transport fluvial (TRA-EQ-116) ;
- branchement électrique des navires et bateaux à quai (TRA-EQ-124).

Des initiatives visant à mettre à jour certaines de ces fiches pour les rendre plus efficaces et adaptées aux entreprises de transport fluvial sont en cours, en lien avec VNF.

Le critère de l'économie d'énergie ne permettait pas toujours de financer le remplacement d'énergies fossiles par des énergies décarbonées. Le récent décret n° 2020-655 du 29 mai 2020<sup>144</sup>, relatif aux certificats d'économies d'énergie et aux modalités de contrôle de la délivrance de ces certificats, répond à cette difficulté en permettant de bonifier l'attribution des CEE par la prise en compte des GES évités. Il ajoute en effet les émissions de gaz à effet de serre évitées comme facteur de pondération du volume de certificats délivrés, en cohérence avec la loi Énergie-Climat. En effet, le volume des certificats peut être pondéré en fonction de la nature des bénéficiaires des économies d'énergie, de celle des actions d'économies d'énergie, **des émissions de gaz à effet de serre évitées** et de la situation énergétique de la zone géographique où les économies sont réalisées, dans des conditions arrêtées par le ministre chargé de l'énergie, si bien que le dispositif s'applique aussi au transport fluvial.

#### 4.5.6 Les questions du cumul des aides, de leur efficacité et de leur intensité

L'un des principaux enjeux en matière de dispositifs d'incitation économique est la capacité de cumul des aides permettant de se rapprocher d'une neutralité économique de la transition énergétique pour les entreprises du secteur.

Les aides d'État, notamment les volets A et B du PAMI, ainsi que le dispositif du suramortissement ou les programmes d'aide européens sont soumis aux plafonds définis par le règlement d'exemption par catégorie (RGEC) n°651/2014 du 17 juin 2014 qui fixe notamment les règles de cumul d'aides.

Le règlement précise que les aides aux coûts admissibles identifiables exemptées de notification peuvent être cumulées avec n'importe quelle autre aide d'État, **dès lors qu'elle porte sur des coûts admissibles identifiables différents**.

Elles peuvent également être cumulées avec toute autre aide d'État portant sur les mêmes coûts admissibles, se chevauchant en partie ou totalement, uniquement dans les cas où ce cumul ne conduit pas à un dépassement de l'intensité ou du montant d'aide les plus élevés applicables à ces aides en vertu du RGEC.

Afin de permettre le financement au-delà des plafonds d'intensité prévu, il convient donc de ne pas financer les mêmes coûts par les différentes aides. La question est donc de savoir si un même projet d'investissement peut être décliné en plusieurs parties identifiables à des "coûts inadmissibles différents" permettant de cumuler plusieurs aides.

#### 4.5.7 Les mesures réglementaires nationales ou européennes

##### 4.5.7.1 Les réglementations européenne et rhénane

---

<sup>144</sup> <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041938743>

La directive européenne 2016/1629 UE et le Règlement de visite des bateaux du Rhin harmonisent les référentiels techniques européens et rhénans, relatifs aux bateaux de navigation intérieure en instaurant un référentiel commun ES TRIN.

Pour la conformité des moteurs à combustion interne, le référentiel technique renvoie par son chapitre 9 à l'application du règlement EMNR (règlement 2016/1628 UE).

Les combustibles à faible point éclair sont traités par le chapitre 30 du référentiel ES TRIN, qui renvoie à une annexe ne traitant que du GNL. Aussi bien le BV que PTF ont fait remarquer que le développement des carburants autres que le GNL, dès lors qu'ils sont à faible point éclair, requerrait des dérogations au cadre réglementaire européen, via des actes délégués de la Commission européenne ou par le biais de recommandations dans le cadre de la CCNR, d'où des délais de mise en place allongés. Des travaux sont en cours au CESNI pour amender le référentiel ES-TRIN et permettre l'usage des piles à combustibles (hydrogène et méthanol). PTF et le Cerema participent activement aux travaux.

#### 4.5.7.2 La réglementation nationale relative à l'innovation technologique

La directive européenne 2016/1629 UE permet aux États-membres de déroger aux prescriptions techniques du référentiel ES TRIN pour des zones de navigation restreintes à l'intérieur de l'État membre.

L'arrêté du 20 août 2019 relatif à la délivrance de titres de navigation sur une zone de navigation restreinte utilise cette possibilité pour traiter les innovations technologiques. Il permet de mettre en place pour chaque projet un comité technique *ad hoc* comprenant porteur de projet, experts, collectivités et administrations chargés d'émettre un avis sur le projet afin de faciliter la délivrance d'un titre restreint ; il est possible de porter aussi le projet au niveau international en parallèle. La procédure reste bien évidemment encore lourde et contraignante et à la portée seulement de gros opérateurs.

#### 4.5.7.3 La taxonomie européenne adaptée aux activités « durables »

Des travaux importants sont en cours actuellement au sein de l'Union européenne concernant la finance durable (*sustainable finance*) et le développement d'un système de classification, ou « taxonomie ». Cette taxonomie a pour objectif de permettre aux entreprises, aux établissements financiers et aux investisseurs de déterminer, sur la base de critères transparents communs de l'UE, les activités économiques considérées comme durables sur le plan environnemental. Ainsi, la taxonomie pourrait permettre d'orienter les capitaux vers des investissements identifiés comme durables.

Le système de classification est encadré dans le Règlement « Taxonomie » (UE) 2020/852 adopté en juin 2020. Il est attendu que ce dispositif soit utilisé comme un outil pilier du *Green Deal*. Les critères de sélection visant à déterminer les activités économiques durables feront l'objet d'un premier acte délégué du Règlement « Taxonomie » soumis à consultation publique du 20 novembre au 18 décembre 2020<sup>145</sup> (adopté par la Commission européenne le 19 décembre).

Le dispositif s'adresse aux acteurs privés, mais doit aussi faire l'objet d'attention des autorités françaises. En effet, les travaux préliminaires menés au niveau européen visant à définir les critères de sélection d'activités économiques liées à la navigation intérieure qui pourraient être classées comme durables et donc « taxonomie-éligibles » ont sans doute besoin d'approfondissements, de façon à s'assurer que les critères applicables au transport fluvial soient à la fois ambitieux et soutenables.

---

<sup>145</sup> Disponible via le lien suivant : <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12302-Climate-change-mitigation-and-adaptation-taxonomy>

et adoption [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_19\\_6793](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_19_6793)

Sur la méthode, il est souhaitable de rechercher, notamment une cohérence entre les travaux de la Commission européenne et ceux de la Commission Centrale de la Navigation du Rhin, en vue de la construction d'un label de transition écologique de la navigation intérieure, alors que commencera une nouvelle période du programme NAIADES qui jouera un rôle important de coordination des politiques européennes dans le cadre du *Green Deal*.

En effet, s'il faut se féliciter de l'insertion du transport fluvial dans la taxonomie, il convient de veiller à ce que les financements ne se détournent pas d'un secteur au moment où il en a le plus besoin pour sa transition énergétique et écologique, en raison d'une grille de critères qui serait inadaptée au transport fluvial.

#### 4.5.7.4 La stratégie de mobilité durable et intelligente de la Commission européenne

La Commission a publié début décembre 2020 sa stratégie de mobilité durable et intelligente<sup>146</sup>. Elle souligne, en tant que premier pilier de son approche, la nécessité d'encourager sans plus tarder l'utilisation de bateaux à émissions faibles ou à zéro émission ainsi que de carburants renouvelables et à faible teneur en carbone pour le transport fluvial. Elle rappelle que le pacte vert pour l'Europe demande qu'une part substantielle des 75 % du fret intérieur qui est actuellement acheminé par la route, soit transférée vers le rail et les voies navigables intérieures. Elle se donne dès lors pour ambition d'augmenter le transport par voies navigables intérieures et le transport maritime à courte distance de 25 % d'ici à 2030 et de 50 % d'ici à 2050.

## 4.6 Une proposition de stratégie de décarbonation du secteur fluvial

L'avenir du transport fluvial dépend en partie de l'attention qu'il portera à la concurrence avec les autres modes dans leur rythme de décarbonation, concurrence, qui, pour le mode de transport routier sera d'autant plus rude que la décarbonation du transport routier, commençant à court terme par les véhicules légers, puis gagnant progressivement l'ensemble du secteur, va conférer à la route un nouvel avantage compétitif : la décarbonation du mode fluvial doit donc être menée sans prendre de retard par rapport à cette dynamique.

Le groupe d'accompagnement a convergé sur plusieurs éléments utiles à la réflexion sur la transition énergétique et sur la décarbonation du transport fluvial.

### 4.6.1 La déclaration de Mannheim

Le point de départ pourrait être donné par **la feuille de route demandée à la CCNR par les cinq États-membres lors de la déclaration de Mannheim adoptée en 2018** qui fixe deux horizons de temps :

- une réduction des GES et des émissions polluantes de 35 % en 2035 ;
- une réduction quasi-totale en 2050.

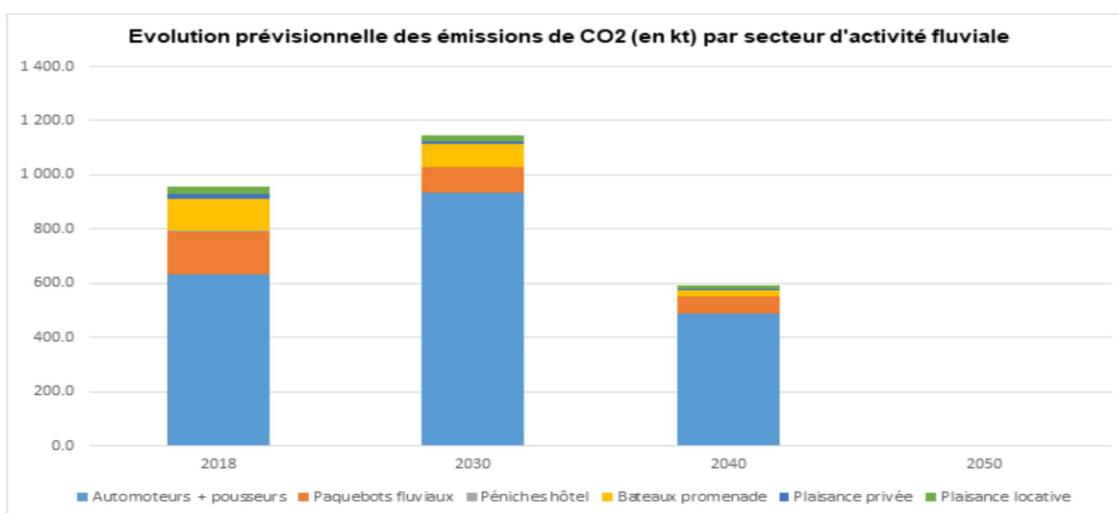
---

<sup>146</sup> *Stratégie de mobilité durable et intelligente : mettre les transports européens sur les voies de l'avenir* COM (2020)-789 du 9 décembre 2020, [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5e601657-3b06-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0002.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5e601657-3b06-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF)

## 4.6.2 La déclinaison française

La déclinaison française de la feuille de route de la CCNR, pilotée par le bureau du transport fluvial dans le respect des engagements internationaux de la France, est en cours de réalisation avec deux scénarios (un optimiste et un pessimiste) de transition pour la flotte européenne différenciés selon les dates de pénétration des nouvelles technologies sur le marché et pourrait largement s'appuyer aussi sur les travaux prospectifs menés actuellement par VNF avec la profession et avec l'IFPEN qui ne sont pas encore achevés à cette date, mais qui construisent à la fois plusieurs scénarios contrastés en termes énergétiques (hybride - hydrogène - 100 % électrique - 100 % thermique, etc..) destinés à explorer le champ des possibles, compte tenu des fortes incertitudes qui entourent la réelle maturité des solutions technologiques compatibles avec les objectifs de décarbonation.

Ainsi le tableau ci-dessous marqué par une croissance des émissions en 2030 liée à la mise en service du canal Seine-Nord-Europe et qui, de ce fait, compte tenu du report modal de la route, ne peut être



**Figure 22 :** Evolution prévisionnelle des émissions de CO2 selon une étude interne de VNF communiquée à la mission

considérée séparément des émissions du transport routier, semble permettre de déterminer un ordre possible des secteurs d'activité dans la décarbonation progressive selon la nature des navigations opérées :

- I - Plaisance privée
- II - Plaisance locative (coches nolisés): bateaux promenade et grands loueurs
- III- Croisière promenade de courte durée
- IV- Flotte fluviale de fret moyenne
- V- Gros bateaux (automoteurs du grand gabarit et pousseurs)

Cette décarbonation progressive par nature d'activité, dans le transport de fret et dans le transport de passagers, pourrait être débattue avec les professionnels et l'ensemble des parties prenantes, ce qui permettrait sans doute de décliner d'ici fin 2021 une stratégie complète de verdissement de la flotte fluviale française compatible avec la feuille de route de la CCNR, qu'il faudra aussi sans doute accompagner par un déploiement de bornes électriques à quai, tant sur les itinéraires fluviaux que sur les ports fluviaux proprement dits.

Elle pourrait être croisée avec une approche prévoyant la mise à l'eau de nouveaux bateaux neutres en carbone progressivement dans le temps suivant leur taille, en commençant par les plus petits. Cette approche pourrait bénéficier du fait que jusqu'à des longueurs de 85 mètres, la puissance des moteurs des bateaux est sensiblement équivalente à celle des poids lourds.

### 4.6.3 Le développement des bornes de recharge électrique et GNV dans les ports fluviaux

Dans le cadre du volet mobilité propre de la PPE<sup>147</sup>, l'État s'est engagé à soutenir le développement de ces bornes. Ce développement doit pouvoir concerner plus généralement l'ensemble des carburants alternatifs. L'approvisionnement correspondant doit se faire en considérant les chaînes logistiques des carburants alternatifs qu'il s'agisse d'hydrogène, de biogaz, d'XTL<sup>148</sup> ou d'électricité, ce qui suppose :

- que le secteur fluvial soit bien intégré au sein des projets et des développements prévus par le plan hydrogène ;
- que la distribution du combustible se situe dans une chaîne plus globale liée à l'environnement du transport fluvial, par exemple pour la filière hydrogène en y intégrant les besoins d'autres modes de transports (bus, camion) dans des scénarios de développement optimistes et pessimistes, voire que cette distribution de combustibles décarbonés puisse se faire à l'aide de stations-services mutualisées entre divers modes de transport.

### 4.6.4 L'évolution de la réglementation

L'évolution de la réglementation doit permettre de faciliter les expérimentations, ce qui passe par exemple :

- **par la simplification de la procédure de recommandation relative aux innovations technologiques au sein de la CCNR, du CESNI, autorisations *a priori*.** La procédure d'examen des dérogations relatives aux innovations technologiques au sein de la CCNR et du CESNI, telle que prévue par les articles 25 et 26 de la directive 2016/1629, pourrait être révisée pour permettre aux États-Membres de délivrer des autorisations et d'en informer les instances internationales : actuellement, les dérogations sont examinées par la CCNR ou le CESNI au cas par cas sur proposition des États-Membres ;
- par l'opportunité d'une implication active des acteurs français (publics et privés) dans les travaux du CESNI pour assurer que **les règles européennes** soient pleinement compatibles avec les bateaux innovants français ;
- par la poursuite active des travaux en cours au sein du CESNI/PT sur les projets de **réglementation pile à combustible** (H<sub>2</sub> et méthanol) : cela est nécessaire afin de corréliser l'avancée de projets innovants avec l'évolution/renforcement des prescriptions techniques pour garantir la sécurité de la navigation autant que la bonne mise en œuvre technique des projets.

### 4.6.5 Le financement

Le financement de l'innovation technologique, en matière de motorisation et de transition énergétique de la flotte, auquel VNF, l'Ademe ainsi que les régions contribuent fortement, est une des clefs de

---

<sup>147</sup> <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20200422%20Programmation%20pluriannuelle%20de%20l%27e%CC%81nergie.pdf>

<sup>148</sup> Ainsi que le définit l'arrêté du 28 février 2017, le « gazole XTL » est un gazole paraffinique de synthèse ou obtenu par hydrotraitement pouvant être composé partiellement d'esters méthyliques d'acides gras destiné à l'alimentation de moteurs thermiques à allumage par compression. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000034159898/>

réussite de la transition, et doit pouvoir trouver sa place aussi bien au niveau des mécanismes de financement nationaux et européens.

Bien entendu, comme le retour sur investissement est de long, voire de très long terme, les mécanismes de financement mis en place doivent être ajustés à cette réalité. De plus toute disposition parallèle visant à une meilleure intégration des coûts externes des divers modes de transport devrait faciliter ces rentabilités.

#### ***4.6.6 Le signal-prix carbone***

Les objectifs de la déclaration de Mannheim adoptée en 2018 (réduction des GES et des émissions polluantes de 35 % en 2035 et quasi-totale en 2050) donnent des valeurs implicites du prix du carbone appliqué au domaine fluvial. Il convient, dans un premier temps, de les évaluer et de les partager entre tous les acteurs, et, dans un deuxième temps, de trouver les mesures à mettre en œuvre pour que puisse s'exercer une concurrence équitable entre les bateaux neufs partiellement ou totalement décarbonés et les bateaux plus anciens.

#### ***4.6.7 Les politiques de report modal***

Le groupe d'accompagnement a insisté à plusieurs reprises sur le fait que les politiques de report modal, menées tant au niveau européen qu'au niveau national, peuvent contribuer à une amélioration du bilan environnemental et du bilan des GES du secteur du transport de marchandises. Bien entendu dans la durée, leur effet ne se fera sentir que si le mode fluvial est en mesure de suivre la trajectoire de décarbonation du transport routier.

## 5 Synthèse et conclusions

Lors du dernier sommet pour la planète le 12 décembre 2020, le secrétaire général de l'ONU a appelé les gouvernements à déclarer l'état d'urgence climatique dans leur pays jusqu'à ce que la neutralité carbone soit atteinte, tandis que l'Union européenne en décembre 2019 s'était engagée avec le pacte vert à atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. La France a inscrit cet objectif dans sa loi climat-énergie du 8 novembre 2019. Cela conduit notre pays à se diriger, le plus rapidement possible, vers des systèmes énergétiques et vers des moyens de transport neutres en carbone dans le respect des conditions d'équité, de justice sociale, y compris dans l'aérien et le maritime, et sans obérer la soutenabilité économique des mesures envisagées. D'ailleurs la convention citoyenne pour le climat « invite les acteurs économiques à mener une action plus volontariste en faveur de la transition écologique ». Mais la transition dans ces secteurs est confrontée à un certain nombre de difficultés.

- Première difficulté : il n'existe pas de solution technologique universelle qui permette aujourd'hui d'assurer la neutralité carbone du maritime sur longue distance et de l'aviation : les solutions seront à adapter selon les différents segments de l'aérien et du maritime.

- Deuxième difficulté : la décarbonation des secteurs aérien et maritime, qui sont soumis à une forte concurrence internationale, est plus complexe à réaliser que celle d'autres secteurs d'activités économiques, car elle appelle des négociations aux niveaux internationaux, européens et nationaux. L'OMI et l'OACI, même si elles ont progressé, ne sont pas encore parvenues à convaincre leurs membres d'arrêter une feuille de route contractualisée pour atteindre la neutralité carbone.

- Troisième difficulté : l'urgence climatique conduit à renforcer régulièrement les objectifs de réduction des émissions. L'Union européenne vient ainsi de décider de réduire de 15 % supplémentaires ses émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030. Or, des délais de dix ans sont extrêmement courts pour de tels secteurs.

Cela conduit en particulier la France à :

- Accompagner dans la durée la mise au point et le développement des technologies permettant de réduire les émissions et de se rapprocher de la neutralité carbone – c'est l'un des objets du plan de relance actuel.
- Continuer à jouer un rôle moteur au sein des organisations internationales en faveur de la fixation d'un prix du carbone incitatif, comme le recommande le Secrétaire général de l'ONU, et à soutenir les initiatives en faveur d'un renforcement des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre de l'OMI et de l'OACI.

### 5.1 Le transport aérien

Le secteur du transport aérien est depuis longtemps engagé dans un processus de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre, en raison de la part importante du carburant dans le prix du billet d'avion. La construction aéronautique n'a eu de cesse de rechercher l'économie en carburant comme argument de vente de son aviation commerciale. Cette politique se couplait parfaitement avec les exigences de réduction d'émissions. Cependant, la croissance économique du secteur conduit à faire le constat que le renouvellement des flottes, en raison du cycle de vie des avions, et les gains dus à la technologie ne permettent pas de penser qu'il est possible de diviser par deux entre 2005 et 2050 l'empreinte carbone de l'aviation sans adopter des mesures fortes, en rupture avec le passé.

Dans ce contexte, la France a un rôle stratégique à jouer, d'abord en tant que pays possédant une industrie aéronautique de tout premier plan au niveau mondial (avec entre autres entreprises de pointe Airbus, Dassault, ATR, Thales, Safran...), mais également au niveau international à l'OACI, comme pays siégeant au Conseil de l'Organisation sans discontinuité depuis sa création au titre de la catégorie des États d'importance majeure dans le transport aérien, l'UE n'étant qu'observateur. Pour

autant l'UE, depuis la mise en œuvre du ciel unique européen, déploie dans le secteur de l'aérien une politique commune au nom de ses États membres, qui passe par la volonté d'asseoir sa place au niveau international. Désormais, les grands programmes de R&D en aéronautique et en gestion de l'espace aérien sont largement financés par l'UE et tous nos industriels y participent. Parallèlement, l'UE est engagée très activement dans un processus de décarbonation. La cohérence de l'action se fait donc au travers des interactions continues établies entre l'UE, la France en particulier et l'OACI.

La réponse aux enjeux environnementaux pour le secteur de l'aviation est loin d'être simple et unique. Le remplacement du kérosène issu du pétrole par des carburants durables, s'il est une voie technologiquement possible, est une solution dont les ressources risquent d'être probablement insuffisantes pour répondre à la demande nationale comme mondiale. Le carburant de substitution vers lequel l'aviation européenne convergerait est l'hydrogène. Ce carburant nécessite des ruptures technologiques qui ne sont pas encore suffisamment maîtrisées. Tant que les solutions industrielles de décarbonation ne sont pas identifiées, il y a lieu d'agir avec une grande prudence dans l'évolution des taxes relatives au secteur aérien qui ne seraient pas adoptées au niveau international : au-delà de l'évolution du signal prix carbone, les principales incitations tarifaires décidées par la puissance publique doivent correspondre à l'incorporation progressive des biocarburants qui se traduira par un renchérissement du prix du billet d'avion.

Si le maritime est le vecteur des échanges de biens, l'aviation est celui qui facilite les échanges entre personnes de différents pays et le tourisme. Il est aussi devenu le vecteur du tourisme international, dont le poids dans le PIB français est significatif. Une décroissance du secteur aurait de graves conséquences sur l'emploi en France. Aussi, il est vital que la politique de décarbonation n'entraîne pas une concurrence déloyale qui tuerait notre industrie française et européenne. Le transport aérien est un secteur économique dont l'activité est majoritairement soumise à la concurrence internationale : les hubs européens, par exemple, sont en concurrence avec ceux de la Turquie et du Moyen-Orient, voire bientôt de celui du Royaume-Uni. Tout doit donc faire l'objet de longues négociations pour converger vers des accords. Le temps de la diplomatie n'est pas l'allié de l'urgence climatique.

Le vrai enjeu se trouve donc dans l'offre d'avions de nouvelle génération et le déploiement de carburants durables aptes à répondre aux exigences environnementales. La France et l'UE ont à ce titre une politique cohérente : l'UE au travers de la publication le 9 décembre 2020 de sa stratégie de mobilité durable et intelligente et sa participation à la R&D dans le secteur de la construction aéronautique ; la France, avec le lancement d'une filière de carburants durables pour l'aviation et avec le financement, en partie grâce à son plan de relance, au travers du CORAC de la recherche pour des avions ultra sobres et en rupture technologique avec les avions actuels (avions à hydrogène, hybrides électriques, ...).

L'effet des émissions de la vapeur d'eau et des nuages induits de l'aérien sur le forçage radiatif est un sujet d'importance. La France y consacre désormais une chaire universitaire. La Commission européenne n'exclut pas, pour en réduire les effets, de modifier à moyen-terme (5-8 ans) les trajectoires des avions pour éviter les zones saturées en glace.

La politique du Gouvernement français en matière de décarbonation du transport aérien peut se résumer en sept actions :

- favoriser l'adoption d'un objectif mondial ambitieux de réduction des émissions de carbone de l'aérien à l'horizon 2050 ;
- travailler à la complémentarité des modes de transports, chacun sur son domaine de pertinence ;
- favoriser l'apparition d'aéronefs ultra sobres dans le cadre du plan de soutien à la filière aéronautique ;
- accélérer et optimiser le renouvellement de la flotte dans le cadre du plan de soutien à la filière

aéronautique ;

- favoriser une meilleure gestion de l'espace aérien et du trafic aérien commercial, permettant d'optimiser les trajectoires ;
- réduire les émissions de l'aviation au sol et encourager la démarche volontaire de réduction des émissions de gaz à effet de serre des aéroports ;
- mettre au point et déployer les carburants neutres de demain et les motorisations adaptées.

## 5.2 Le transport maritime

Le secteur du transport maritime est engagé dans un processus de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre et des autres polluants atmosphériques tant au niveau international avec l'OMI qu'europpéen et national. Les actions à mener peuvent donc être déclinées de façon cohérente selon ces trois niveaux.

Au niveau international de l'OMI, même si l'accord auquel est parvenu le MEPC 75 en novembre 2020 apparaît insuffisant pour s'assurer que les objectifs de réduction de 50 % des émissions internationales du secteur en 2050 par rapport à 2008 seront respectés, le fait de pouvoir utiliser l'obligation de rapportage annuel instaurée depuis 2019 (MRV) offrira la possibilité à la France de plaider au sein de l'OMI la mise en place de mesures supplémentaires pour recalculer les trajectoires de décarbonation, si les deux mesures retenues de l'EEXI et du CII ne permettent pas aux émissions de respecter les trajectoires de réduction envisagées.

Au niveau européen, l'activité de la nouvelle Commission européenne est particulièrement intense, notamment avec le Pacte vert du 11 décembre 2019 et avec la publication du 9 décembre 2020 sur la stratégie de mobilité durable et intelligente. Les trois sujets majeurs pour le transport maritime sont :

- l'utilisation du système MRV cohérente avec celle mise en place aussi à l'OMI ;
- la mise à l'étude de l'application du système d'échange des quotas d'émission (SEQUE) aux émissions internationales du transport maritime qui peut difficilement se concevoir<sup>149</sup> sans un mécanisme complexe de taxation du carbone aux frontières et où les armateurs français et européens appellent à la plus grande vigilance vis-à-vis de la concurrence des autres armateurs et du risque de report de trafics vers les hubs portuaires extra-européens britanniques, turcs ou marocains ;
- celui des outils de financement de la décarbonation pour la période 2021-2027 qui requiert une action collective pour veiller aux enjeux industriels, notamment dans le programme de R et D Horizon Europe 2021/2027, et vis-à-vis des carburants alternatifs.

Au niveau national, la première action urgente identifiée par la mission consiste à demander à la DGITM d'actualiser l'étude datant des années 2000 qui fonde la répartition faite au sein des routes françaises entre émissions domestiques et émissions internationales, ce que demandent à la fois la CCNUCC et le Citepa, et ce, afin d'affiner les rapports annuels des émissions du transport maritime français.

Quatre orientations majeures semblent pouvoir guider la stratégie des cinq prochaines années :

---

<sup>149</sup> En effet en prenant l'exemple d'un parcours Asie-Europe entre les ports A et B si l'armement passe par un port limitrophe extra-européen C, puis transborde vers le port européen B, il ne sera pas soumis à l'ETS sur ce premier parcours du port A au port C, mais seulement sur le second qui est beaucoup plus court, ce qui l'avantage par rapport à l'armateur qui transporte directement vers le port européen B ou qui transborde dans un port européen D avant de rejoindre le port B. De surcroît cela peut créer un avantage concurrentiel pour les produits transformés dans ces ports limitrophes sauf à ce qu'une taxe carbone aux frontières soit instaurée qui tienne compte de ces deux types de situation, ce qui ne manque pas de complexité de mise en œuvre pratique.

- **I-En l'absence d'une solution technologique universelle, favoriser l'expérimentation des différentes techniques permettant une propulsion neutre en carbone des navires**

Différentes technologies sont possibles pour assurer demain la neutralité carbone des navires : il est ainsi souhaitable d'étudier le captage et le stockage de CO<sub>2</sub> à bord des navires et d'expérimenter les autres technologies possibles (hydrogène, ammoniac, gaz naturel avec capture et stockage du carbone, électricité (mais uniquement sur de courtes distances), biocarburants, e-fuels...). Ce temps d'expérimentation doit également bénéficier, dans toute la mesure du possible, du retour d'expérience international. Dans le domaine maritime, encore plus que dans d'autres, seules les solutions reconnues internationalement s'imposeront.

Le gaz naturel liquide, qui réduit fortement les problèmes de pollution et qui peut diminuer les émissions de CO<sub>2</sub> si les phénomènes de méthane *slip* (correspondant à des émissions de méthane imbrûlé) sont pris en compte à la conception, est un très bon candidat dans une solution transitoire. Associé à la capture et au stockage du CO<sub>2</sub> ou à d'autres techniques (biogaz, moteurs flexibles, e-fuels), il peut permettre de se rapprocher de la neutralité carbone : il reste cependant à en démontrer la faisabilité technique et économique et à faire reconnaître cette solution (considérée comme un *stranded asset* potentiel notamment par l'AIE) au plan international.

Pour accompagner cette phase de transition et d'expérimentation, une action concertée des trois principales parties prenantes (CMF, Ademe, État) de la coalition nationale pour la Transition éco-énergétique de la filière maritime (T2EM), notamment avec Armateurs de France et l'UPF pour le transport maritime coordonnée avec les acteurs du comité de filière des industriels de la mer, permettra d'affiner et de décliner ces éléments de stratégie pour les différents segments du maritime et du fluvial afin de parvenir à une feuille de route partagée entre les acteurs économiques et les pouvoirs publics.

- **II- Accélérer la dynamique d'adaptation de la flotte**

- a) pour la navigation domestique, il pourrait être imposé que tous les navires neufs soient neutres en carbone à l'horizon 2035 ;
- b) pour la navigation internationale, une telle obligation doit être négociée au niveau international ou européen et un horizon 2040 pourrait être un objectif de négociation : dans sa stratégie de mobilité durable et intelligente parue début décembre 2020, la Commission a retenu comme objectif la mise sur le marché de navires zéro émission à partir de 2030, ce qui suppose de pouvoir engager une réflexion destinée à préciser les notions de navire zéro émissions et de navire capable de naviguer avec des technologies zéro émissions, à examiner l'intérêt de fixer une date à partir de laquelle tout nouveau navire exploité dans les eaux européennes devrait être capable de naviguer avec des technologies zéro émissions, à partager avec les Britanniques, les moyens à même de satisfaire à l'obligation pour tout navire commandé à partir de 2025 et naviguant dans les eaux britanniques de le faire avec des technologies zéro émissions.

- **III Mettre en place les outils propres à inciter, à financer ou à accélérer ces évolutions :**

- soit sous forme d'une aide à l'investissement notamment dans le cadre du PIA<sup>150</sup> pour de tels

---

<sup>150</sup> Il convient de noter que le PIA4 conçu pour la période 2021-2025 a annoncé le 9 janvier un axe relatif à la digitalisation et à la décarbonation des mobilités qui pourrait ainsi être mobilisé

navires jusqu'à la date retenue pour transformer l'incitation en obligation et avec l'appui des projets du Corimer ;

- soit sous forme d'une aide de nature fiscale, de type suramortissement en prolongeant les dispositions actuelles sur l'ensemble de la période de transition ;
- soit sous la forme d'un encouragement de l'État aux démarches volontaires mises en place par les acteurs pour s'engager dans la transition énergétique (comme celle du label *Green marine Europe*<sup>151</sup>) ;
- mettre en place un signal prix carbone pour déclencher des mesures de réduction des émissions de GES et réduire l'écart entre solution carbonée et décarbonée ;
- renforcer l'activité de réglementation technique et de normalisation pour faciliter l'introduction de ces nouvelles technologies de propulsion et des carburants associés ;
- faciliter l'accès à l'information, comme permet de le faire la plateforme T2EM ;
- renforcer le rythme de développement résolu de l'électrification à quai des navires et les possibilités d'avitaillement en GNL ;
- étendre le mécanisme de suramortissement au-delà de la seule flotte côtière ;
- faire précéder l'adoption de mesures prescriptives d'une évaluation des projets expérimentaux relatifs aux solutions neutres en carbone ou fortement décarbonées.

- **IV Fixer des objectifs de réduction des autres émissions atmosphériques polluantes**

Les mesures les plus efficaces portent sur la reconnaissance de zones de contrôle des émissions atmosphériques, dites zones ECA :

- à court terme concrétiser la zone ECA Méditerranée pour les SO<sub>x</sub> et l'étendre ensuite aux NO<sub>x</sub> (comme ce sera le cas de la mer du Nord/Baltique à partir du 1er octobre 2021) et dans un second temps aussi aux particules fines, après avoir travaillé aux solutions technologiques adéquates ;
- à plus long terme envisager l'extension de ces zones de contrôle d'émission au golfe de Gascogne et aux départements d'Outre-mer.

Ces orientations devraient être présentes dans l'accord de compétitivité qui sera mis en place dans le cadre du Fontenoy maritime.

## 5.3 Les ports

Le périmètre de la mission était limité aux services d'escale au transport maritime dans les ports, qui comprend l'ensemble des services aux navires, si bien que la question plus large de la décarbonation du port dans son exploitation, de sa zone industrialo-portuaire et de ses zones logistiques n'a été abordée qu'à la marge.

Il serait sans doute opportun que les ports se dotent d'une feuille de route de la décarbonation globale portant sur un périmètre plus large que celui étudié par la mission, qui engloberait l'exploitation portuaire proprement dite et les zones industrialo-portuaire et logistiques.

Un groupe d'accompagnement, analogue à celui qui a aidé la mission, pourrait l'aider à la mettre en place avec les associations professionnelles parties-prenantes de cette dynamique de transition

---

<sup>151</sup> Le « *Green Marine Europe* » est un programme volontaire de certification environnementale pour l'industrie maritime européenne. Il est né en 2020 et est l'adaptation du label Nord-américain *Green Marine* (ou « Alliance Verte »).

énergétique et de la réduction des émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques.

Les actions prioritaires à mener identifiées par la mission pourraient être les suivantes :

- 1- constituer une plateforme d'échange d'expériences en lien étroit avec la coalition T2EM montée par le CMF ;
- 2- harmoniser les périmètres de rapportage des émissions de GES des ports et étendre ce rapportage progressivement aux émissions de polluants atmosphériques ;
- 3- initier un inventaire régulier des émissions de GES et de polluants atmosphériques des navires et des services aux navires dans les approches portuaires et au port ;
- 4- concrétiser la réflexion plus large à engager sur le modèle économique des électrifications à quai et de l'utilisation de sources d'énergies décarbonées ;
- 5- favoriser les opérations de distribution de GNL et de carburants alternatifs dans les ports ;
- 6- veiller à inscrire les stratégies portuaires en cohérence avec les stratégies nationales et régionales de transition énergétique et de décarbonation, ce qui passe par la mise au point d'une feuille de route de l'ensemble du système portuaire ;
- 7- stimuler et structurer les efforts de recherche et développement en consacrant à ce sujet un des volets des journées annuelles des « ports du futur » ;
- 8- renforcer les actions engagées avec le plan de relance en faveur du ferroviaire et du fluvial ;
- 9- poursuivre les efforts de stimulation du transport maritime à courte distance (*short sea*).

## 5.4 La pêche

Même si le secteur de la pêche n'est pas inclus pour le moment dans le périmètre du transport maritime, notamment à l'OMI, le processus de comptabilisation des émissions diligenté par le Citepa l'agrège au secteur maritime du fait de l'utilisation de carburants à usage maritime.

Il apparaît donc souhaitable qu'une fois l'étude de l'UAPF validée, un examen comparatif soit effectué avec les estimations du Citepa, par l'ensemble des parties prenantes (Citepa/DPMA/CGDD/UAPF/...), pour voir si une ré-estimation des données d'émissions de GES depuis 1990 est ou non nécessaire, sachant par ailleurs que le sujet des émissions de NOx mérite lui aussi une attention particulière afin de déterminer les voies de réduction possibles.

Une stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre du secteur de la pêche pourrait s'appuyer sur les trois axes principaux suivants :

- 1- Fixer des objectifs de long terme de réduction des émissions du secteur, conformément à la loi climat-énergie : ces objectifs pourront différer dans le temps suivant le type de pêche concerné ;
- 2- Faire progresser la profession grâce à la DPMA dans la recherche de solutions alternatives aux carburants carbonés ;
- 3- Mettre en place des incitations économiques permettant de favoriser le déploiement de solutions neutres en carbone ;
- 4- Veiller à ce que le nouveau programme du FEAMP laisse une plus grande latitude de choix d'affectation des ressources aux États-membres pour permettre à la France de soutenir :
  - le financement d'expérimentations de motorisations neutres en carbone ;

- le déploiement pour la petite pêche et la pêche côtière<sup>2</sup> de systèmes de propulsion électriques et/ou hybrides ;
  - le déploiement d'installations et d'équipements dans les ports de pêche pour répondre aux besoins d'avitaillement en carburants alternatifs et de recharge électrique des bateaux et navires de pêche.
- 5- Engager un processus d'amendements à la réglementation actuelle sur la jauge des navires de pêche pour que puissent être autorisées, à jauge utile identique, les augmentations de volumes de jauge rendues nécessaires par la mise en place de motorisations et carburants alternatifs.

## 5.5 La plaisance

Le secteur de la plaisance représente un niveau d'émissions (0,5 à 1 MtCO<sub>2</sub>e) qui reste élevé même si le niveau d'incertitude dans les estimations est au moins d'un facteur 2, ce qui appelle à réaliser un travail spécifique entre la FIN, le CGDD, la DGITM et le Citepa pour réduire ce niveau d'incertitude sans doute en interrogeant aussi la fédération française des ports de plaisance.

La stratégie propre à ce secteur pourrait passer par cinq actions :

- 1- Fixer un objectif de long terme de réduction des émissions du secteur en visant un objectif à 2050 de neutralité des émissions de ce secteur, entendue sur le cycle carbone de l'énergie utilisée. Ceci impliquera de ne mettre en service que des navires neutres en carbone à l'émission à partir de 2040, à condition que cette date soit adoptée au niveau européen ;
- 2- Encourager par des incitations économiques la transition vers la neutralité carbone du secteur ;
- 3- Développer progressivement le pourcentage des places réservées dans les ports de plaisance aux bateaux neutres en carbone en assurant les réseaux de charge et l'approvisionnement du carburant concerné ;
- 4- Accroître sensiblement le périmètre des zones à faibles ou très faibles émissions pour favoriser le développement des motorisations alternatives et hybrides ;
- 5- Promouvoir auprès des collectivités territoriales l'encouragement au déploiement de l'usage de bateaux électriques, hybrides rechargeables ou neutres en carbone, sur les flottes publiques ou les flottes opérées en délégation de service public (DSP) avec la création éventuelle de bornes de recharge.

## 5.6 Le transport fluvial

Le secteur fluvial bénéficie d'un atout indéniable au plan européen avec l'expérience rhénane de la CCNR ; il a déjà largement travaillé sur les questions d'évolution de ses motorisations qui se heurtent souvent à un contexte économique peu favorable à des évolutions rapides. Il semble indubitablement mûr pour concrétiser sa dynamique de décarbonation et de réduction de ses émissions atmosphériques grâce à un plan d'action pratique et efficace qui pourrait être décliné en sept points :

- 1- Repartir de la feuille de route demandée à la CCNR par les cinq États-membres lors de la déclaration de Mannheim adoptée en 2018 qui fixe deux horizons de temps :
  - a) une réduction des GES et des émissions polluantes de 35 % en 2035 ;
  - b) une réduction quasi-totale en 2050 ;
- 2- Décliner au niveau français cette feuille de route de la CCNR, grâce au bureau du transport fluvial (PTF3) en veillant aux engagements internationaux de la France et en associant VNF et la CNR, au besoin en prolongeant le groupe d'accompagnement mis en place pour faciliter le bon achèvement de la mission décarbonation jusqu'à la finalisation de la feuille de route française ;

- 3- Développer progressivement les bornes de recharge électriques et GNV dans les ports fluviaux ;
- 4- Faire évoluer la réglementation pour faciliter les expérimentations de systèmes innovants, tant au niveau de la propulsion avec des énergies décarbonées ou neutres en carbone qu'au niveau de l'optimisation de l'exploitation des bateaux ;
- 5- Améliorer l'ensemble du système de financement (européen, national, VNF, Ademe, régional, bancaire) de l'innovation technologique en matière de motorisation et de transition énergétique de la flotte en combinant ces niveaux de financement ;
- 6- Évaluer et partager le niveau adéquat du prix du signal carbone pour harmoniser les conditions de concurrence entre motorisations traditionnelles et décarbonées ;
- 7- Favoriser les politiques de report modal vers un transport fluvial ainsi décarboné et la collaboration des modes massifiés avec la route.

## 5.7 La gouvernance de la transition vers la décarbonation et la réduction des émissions atmosphériques des secteurs maritimes et fluviaux

Au-delà des éléments de stratégie présentés ci-dessus, la transition vers la décarbonation et la réduction des émissions atmosphériques des secteurs maritimes et fluviaux nécessite la définition et la mise en œuvre de mesures concrètes et évolutives ainsi qu'une gouvernance adaptée. Ces mesures devront être élaborées et mises en œuvre par un ensemble d'acteurs publics ou privés appartenant à de nombreux secteurs : ministères, agences de l'État, armateurs, industries navales, ports, énergéticiens, banques, chargeurs, collectivités territoriales, instituts de recherche, universités, etc. Beaucoup d'entre eux sont déjà réunis au sein de la Coalition T2EM (transition éco-énergétique du maritime) du Cluster maritime français – chargée notamment du partage d'information – et au sein du Comité stratégique de filière des industriels de la mer – chargé notamment du soutien à l'innovation et à la R&D.

Par ailleurs, cette transition, qui devra respecter les différents objectifs fixés par les SNBC successives, va s'inscrire sur une durée longue et impliquera des investissements considérables dans un domaine soumis à une forte concurrence internationale. Sa réussite est une des conditions nécessaires de la bonne santé économique future des secteurs concernés.

Dans ces conditions, une gouvernance adaptée, permettant une étroite coopération entre tous ces acteurs dans le temps long, est un facteur de réussite essentiel. Elle impliquerait des tâches stratégiques : définition des mesures, coordination de leur mise en œuvre, évaluation des impacts et résultats, adaptation de la stratégie à l'évolution du contexte technologique et économique, secrétariat des instances de décision, communication, etc.

Dès lors, pour assurer une bonne dynamique de décarbonation et de réduction des émissions atmosphériques polluantes des secteurs maritimes, un espace de concertation et de pilotage *ad hoc*, reposant sur une équipe dédiée (de type « Task Force décarbonation »), pourrait être mis en place à l'issue du Fontenoy de la mer. À l'image des travaux réalisés dans le cadre du groupe d'accompagnement instauré par la mission, qui a permis de favoriser l'expression et l'échange entre acteurs, il serait de nature à favoriser, sur la base des recommandations formulées dans le rapport et des conclusions du Fontenoy de la Mer, l'élaboration et le suivi de la mise en œuvre d'une ou de plusieurs feuilles de route engageant les différents acteurs. Les principaux acteurs concernés – notamment les pouvoirs publics et les membres de la coalition T2EM du Cluster maritime français – pourraient mutualiser leurs moyens au sein de la *Task Force* décarbonation suggérée. Les feuilles de route proposées auraient vocation à être présentées devant le Conseil national de la transition écologique (CNTE), ainsi que devant le Comité ministériel sur le développement et l'innovation dans

les transports (CMDIT). Ces feuilles de route pourraient également alimenter le comité de suivi de la stratégie nationale portuaire par rapport à l'avancement des objectifs de transition écologique et énergétique des ports français à horizon 2050.

Un dispositif adapté serait sans doute aussi à concevoir dans un esprit analogue pour le transport fluvial.

**Dominique Auverlot**



**Ingénieur général  
des ponts, des eaux  
et des forêts**

**Geoffroy Caude**



**Ingénieur général  
des ponts, des eaux  
et des forêts**

**Thierry Lempereur**



**Ingénieur général  
des ponts, des eaux  
et des forêts**



# Annexes



# 1 Lettre de mission



MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

CGEDD n°013277-01

Paris, le 17 FEV. 2020

**La ministre**  
**Le secrétaire d'État aux transports**

à

Madame la vice-présidente du CGEDD

Objet : Rapport sur la décarbonation et la réduction des émissions polluantes dans les secteurs du transport aérien et du transport maritime prévu à l'article 81 de la Loi d'orientation sur les mobilités

Réf. : D20002076

Madame,

Le développement continu des échanges internationaux engendre une hausse conséquente de la demande de transport, qu'elle soit maritime ou aérienne. Si de nombreuses évolutions techniques et réglementaires ont été initiées dans le but d'améliorer les performances et de limiter leur empreinte environnementale respective, ces deux secteurs n'en représentent pas moins une part significative des émissions de polluants atmosphériques ainsi que de gaz à effet de serre.

La France est désormais fermement engagée sur la voie de la décarbonation et de l'amélioration de la qualité de l'air. Des objectifs nationaux, européens et internationaux ont été définis et doivent être spécifiquement déclinés pour le transport aérien et maritime, et une stratégie doit être élaborée pour les atteindre. En s'inscrivant dans cette dynamique, la France souhaite promouvoir sa place de chef de file, notamment dans le cadre européen, en s'appuyant sur son savoir-faire en matière technologique.

Dans cet esprit, l'article 81 de la loi d'orientation des mobilités dispose que « dans un délai de six mois à compter de la promulgation de la présente loi, le Gouvernement remet au Parlement un rapport sur la décarbonation et la réduction des émissions polluantes dans les secteurs du transport aérien et du transport maritime. Il dresse le bilan des actions engagées et présente la stratégie retenue. » Nous souhaitons vous confier la rédaction de ce rapport.

Les transports aérien et maritime ont de nombreux points communs, dont une gouvernance internationale forte autour de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) et de l'Organisation maritime internationale (OMI), ainsi qu'un caractère particulièrement marqué d'une concurrence internationale vive. Pour ces raisons, ces deux secteurs sont souvent associés, avec un effet miroir qui permet de tirer profit des expériences de chacun. Ils demeurent néanmoins substantiellement différents quant à leurs contraintes techniques, leur encadrement réglementaire et l'organisation de leur activité. Le rapport devra donc s'attacher à distinguer les éléments convergents d'une stratégie commune tout en proposant également des pistes adaptées à chacun des deux secteurs.

.../...

Hôtel de Roquelaure - 246, boulevard Saint-Germain - 75007 Paris - Tél : 33 (0)1 40 81 21 22  
[www.ecologique-solidaire.gouv.fr](http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr)

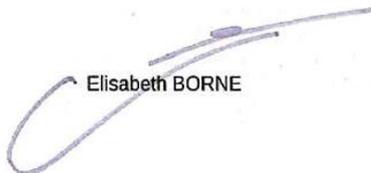
Pour la réalisation de ce rapport, vous vous appuyerez sur la Direction générale de l'aviation civile et sur la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (Direction des affaires maritimes), en associant autant que de besoin la Direction générale de l'énergie et du climat. Nous souhaitons que des points d'étape réguliers soient effectués avec ces directions.

Nous souhaitons également que les établissements publics concernés (CEREMA, ADEME, ONERA) et les acteurs privés des secteurs du transport aérien et maritime jouent un rôle dans la conception de ce rapport, aussi nous comptons sur le CGEDD, la DGAC et la DGITM pour associer ces acteurs aux échanges et à la réflexion.

Le rapport demandé devra notamment s'attacher à :

- présenter une synthèse des connaissances scientifiques en matière d'impacts climatiques et d'émissions atmosphériques des secteurs aériens et maritimes ;
- dresser le bilan des actions déjà engagées au regard des objectifs existants et présenter, pour chaque secteur, les politiques publiques existantes, le contexte économique et réglementaire ainsi que les technologies nécessaires à leur décarbonation et à la réduction des émissions en distinguant les existantes et les étapes de maturité futures des autres technologies ;
- identifier, le cas échéant, les objectifs complémentaires qui seraient nécessaires et les conditions de leur mise en œuvre, en particulier pour les navires qui n'entrent pas dans le champ des négociations en cours à l'OMI ;
- sur la base de ce bilan, proposer une stratégie combinant les deux problématiques décarbonation et pollution atmosphérique; elle portera plus particulièrement sur les choix à faire en matière d'infrastructures, de politique publique mais également de recherche et de structuration de filière et prendra en compte la soutenabilité économique.

Au regard des délais imposés par la loi, nous vous saurons gré de bien vouloir nous remettre votre rapport d'ici le 30 mai 2020.



Elisabeth BORNE

Jean-Baptiste DJEBBARI



## 2 Liste des personnes rencontrées ou consultées

Entité	Personnes consultées	Fonction
<b>1- Sujets transversaux</b>		
Cabinet TRANSPORTS	Alban VIRLET	Conseiller affaires industrielles, mer, régulation
	Antoine TOULEMONT	Conseiller diplomatique et services aériens
Cabinet MER	Loïc MILLOIS	Conseiller ports et transports maritimes
CGEDD	Florence TORDJMAN	Présidente de la section transition énergétique, construction et innovations
	Pierre-Alain ROCHE	Président de la section Mobilités et Transports
DGEC	Ophélie RISLER	Chef du département lutte contre l'effet de serre (SCEE/DLCES)
	Julien VIAU	Chef du bureau marchés du carbone
	Isabelle CABANNE	Chargé de mission SNBC, bureau des émissions, projections et évaluations
	Victor BORMAND	Bureau politique climat et atténuation
	Isabelle DOMERGUE	Chef du bureau logistique pétrolière et carburants alternatifs (DE/SD2/2C)
	Nicolas MORIN	Adjoint au chef de bureau logistique pétrolière et carburants alternatifs
ADEME	Yann TREMEAC	Chef-adjoint du service transports et mobilités
	Bruno GAGNEPAIN	Ingénieur biocarburants
Citepa	Jean-Marc ANDRE	Responsable de l'unité transports et mobilités
	Thamara VIEIRA da ROCHA	Responsable transports maritimes
UFIP	Olivier GANTOIS	Président
<b>2- Domaine aérien</b>		
UNION EUROPEENNE	Filip CORNELIS	Directeur aviation (DG MOVE)
	Florent GUILLERMET	Directeur exécutif SESAR JU
DGAC	Patrick GANDIL	Directeur général de l'aviation civile
	Marc BOREL	Directeur du transport aérien (DTA)
	Véronique MARTIN	Sous-directrice développement durable (DTA/SDD)
	Claire RAÏS ASSA	Adjointe sous-directrice développement durable
	Pierre MOSCHETTI	Sous-directeur construction aéronautique (DTA/SDC)
	Carine DONZEL	Adjointe sous-directeur construction aéronautique
	Kevin GUITTET	Sous-directeur études, statistiques et prospective (DTA/SDE)

	Gilles MANTOUX	Chef mission ciel unique européen (DTA/MCU)
	Stéphane CHATTY	Directeur programme innovation (DSNA)
	Geoffroy VILLE	Adjoint au directeur des opérations (DSNA/DO)
	Patrick SOUCHU	Directeur de programme SESAR (DSNA/DTI/DP)
AIR FRANCE	Nathalie SIMMENAUER	Directrice développement durable
	Laurent TIMSIT	Directeur affaires internationales et institutionnelles
UAF	Nicolas PAULISSEN	Délégué général
	Bernard EBERHARDT	Adjoint au délégué général
AdP	Amélie LUMMAUX	Directrice environnement, RSE et territoires
Aéroport de Toulouse	Christine COURADE	Directrice développement social et sociétal
GIFAS	Anne BONDIU-CLERGERIE	Directrice R&D, espace et environnement
AIRBUS	Jean-Brice DUMONT	Vice-président exécutif engineering
	Marc HAMY	Vice-président chargé des affaires internationales
	Bruno COSTES	Directeur environnement et affaires publiques
ATR	Solène FLAHAULT	Responsable relations institutionnelles et environnement
	Giovanna FERRARO	Responsable projets futurs
	Arnaud JORDAN	Ingénieur conception initiale
SAFRAN	Stéphane CUEILLE	Directeur recherche et innovation
	Valérie GUENON	Directrice politique environnementale produits
	Nicolas JEULAND	Responsable prospective, expert carburants du futur
THALES	Philippe BLENQUET	Vice-président chargé de la stratégie
	Nicolas DE LEDINGHEN	Vice-président chargé du programme A400M et systèmes de gestion de vol
ONERA	Philippe BEAUMIER	Directeur aéronautique civile
	Laurent JACQUIN	Adjoint au directeur du département d'aérodynamique fondamentale et expérimentale
	Philippe NOVELLI	Responsable programme R&T
CORAC	Jean-Brice DUMONT	Président du comité de pilotage
IPSL	Olivier BOUCHER	Directeur adjoint IPSL, climatologue
	Didier HAUGLUSTAINE	Directeur de recherche au CNRS, climatologue
ENAC	Isabelle LAPLACE	Responsable programme recherche développement durable du transport aérien
<b>3- Transports maritimes , ports, pêche, plaisance et transports fluviaux</b>		

3-1 Personnes consultées individuellement		
Union Européenne	Magda KOPCZYNSKA	Directrice du Maritime ( DG Move)
	Barbara SELLIER	Adjointe au chef de l'unité de sécurité maritime
	Sandro SANTAMATO	Chef de l'unité du transport maritime et de la logistique
	Daniela ROSCA	Chef de l'unité ports et navigation intérieure
DAM	Thierry COQUIL	Directeur des affaires maritimes
	Benoît FAIST	Sous-directeur de la sécurité et de la transition écologique des navires (STEN)
	Nicolas UDREA	Adjoint au chef de bureau STEN2
ENSM	Alban SALMON	DG de l'ENSM
	Pascal ROBERT	Professeur en génie électrique
	Etienne DELAIRE	Professeur mécanique navale-électronique
	Jonas THIAUCOURT	Enseignant-chercheur
Plateforme GNL carburant marin & fluvial	Alain GIACOSA	Directeur
Total	David CHOUQUET	New Fuels Solutions Developer
	Philip LLEWELLYN	CCUS R&D Program Manager
	Frédéric MEYER	Strategy Director at Total Marine Fuels Global Solution
3-2 membres du groupe d'accompagnement de la mission décarbonation du transport maritime et du transport fluvial		
DAM	Benoît FAIST	Sous-directeur de la transition écologique des navires
	Marc LEGER	Adjoint au sous-directeur de la transition écologique des navires
	Nicolas UDREA	Adjoint au chef de bureau STEN2
	Michel ARDOHAIN	Chef du bureau de la transition écologique des navires
PTF3	Muriel BOULDOUYRE	Cheffe du bureau du transport fluvial
	Mickaël PATETTA	Adjoint à la Cheffe du Chargé de mission au sein du PTF3
	Guillaume GORGES	Chargé de mission au sein du bureau PTF3
	Thomas THIEBAUT	Chargé de mission au sein du bureau PTF3
Ademe	Yann TREMEAC	Chef de service adjoint transports et mobilités
	Philippe CAUINEAU	Expert, service transports et mobilités

Cerema/DetecEMF	Fabrice DALY	Directeur du département infrastructures et transports
	Jean-Matthieu FARENC	Chargé de mission au département DIT
	Baptiste PANHALEUX	Chargé d'étude au département DIT
Bureau Veritas/ Marine et Offshore	Loïc ABALLEA	Directeur des affaires OMI, UE, au sein du département juridique, conformité et management des risques
	Julie VENET	Chargée de projet au sein du département juridique, conformité et management des risques
CGEDD	Geoffroy CAUDE	membre permanent
	Dominique AUVERLOT	membre permanent
	Thierry LEMPEREUR	membre permanent

<b>Personnes invitées à participer lors des séances du groupe d'accompagnement des 26 juin, 3 juillet, 10 juillet, 20 juillet, 28 août, 15 septembre et 3 décembre</b>	
Agence Européenne de Sécurité Maritime (AESM)	Carlos PEREIRA
	Frédéric HEBERT
Association française du bateau électrique(AFBE)	Xavier de MONTGROS
Armateurs de France	Jean-Marc LACAVE
	Nelly GRASSIN
	Laurène NIAMBA
	Flore NOIROT
Bateaux Parisiens	Michel TOETSCH
Bureau Veritas ( BV)	Julie VENET
	Patrick JAN
	Adrien AUBERT
	Antoine BREUILLARD
	Jean-Baptiste ORTOLI
Commission Centrale pour la Navigation du Rhin (CCNR)	Guy JACOBS
	Benjamin BOYER
CE Delft	Laure ROUX
CFT	Jasper FABER
	Matthieu BLANC
Chantiers de l'Atlantique	Pascal GIRARDET
	Laurent CASTAING
CGEDD	Rouchdy KBAIER
Cluster Maritime français	Frédéric MONCANY de Saint-Aignan
	Emmanuel-Marie PETON
Citepa	Jean-Marc ANDRE
	Jean-Pierre CHANG
CMA-CGM	Jacques GERAULT
CNR	Jean HERVOUËT

Conseil Supérieur de la Marine Marchande (CSMM)	Serge SEGURA
	Marie-Françoise SIMON-ROVETTO
	Jean-Jacques MORVANT
Direction des Affaires maritimes (DAM)	Jean-Philippe QUITOT
Direction Générale Energie et Climat (DGEC)	Ophélie RISLER
Direction Générale Energie et Climat (DGEC)	Isabelle DOMERGUE
Direction des Pêches maritimes et de l'aquaculture (DPMA)	Lorraine PUZIN
	Catherine DELBECQUE
	Jean QUELLIER
Entreprises Fluviales de France (EFF)	Didier LEANDRI
	Vanessa GIRARDEAU
Eifer Uni Karlsruhe	Annabelle BRISSE
ENSM	Alban SALMON
	Yann VACHIAS
FIN	Maud DUGOURD
	Sébastien MILCENDEAU
FFPM	Jean-Philippe CASANOVA
	Henry CAUBRIERE
	Jérémy GOUNET
Gican	Jacques ORJUBIN
	Boris FEDOROVSKY
GPMD	Daniel DESCHODT
	Gwenaëlle COTONNEC
	David LEFRANC
GPMLM	Jean-Rémy VILLAGEOIS
	Kelli MAMADOU
GPMM	Hervé MARTEL
	Stéphane REICHE
	Michaël PARRA
Haropa	Stéphane RAISON
Haropa/LH	Baptiste MAURAND
	Pascal GALICHON
	Krishnaraj DANARADJOU
Haropa/Paris	Antoine BERBAIN
	Benoît SEIDLITZ
Hynamics	Christelle ROUILLE
	Géraldine JAMMY
	Pascal WEXLER
OMI	Damien CHEVALLIER
Plateforme GNL carburant marin et fluvial	Alain GIACOSA
Total	Nicolas ROUQUETTE
	David CHOUQUET

Union des armements à la pêche de France (UAPF)	Marc GHIGLIA
UCL	Tristan SMITH
Union nationale des industries de manutention (UNIM)	Christian de TINGUY
	Ronan SEVETTE
Union des ports de France	Jean-Pierre CHALUS
	Mathilde POLLET
Voies navigables de France (VNF)	Thierry GUIMBAUD
	Cécile COHAS
	Joffrey GUYOT
	Anthony PETITPREZ
	Aurélie MILLOT
Windship	Lise DETRIMONT
	Nils JOYEUX

## 3 L'état des lieux des émissions de gaz à effet de serre et des polluants atmosphériques des secteurs aérien et maritime

Cette annexe est divisée en quatre parties : la première rappelle brièvement l'état des connaissances scientifiques sur les réductions d'émissions de GES à effectuer et traite des effets sur la santé de la pollution atmosphérique, la deuxième est consacrée à la méthodologie de comptabilisation des émissions dans les différents secteurs, la troisième aux émissions de l'aérien et la quatrième au secteur maritime. Une dernière partie, enfin, liste un certain nombre de mesures qui pourraient permettre d'améliorer cet état des lieux.

### 3.1 Le changement climatique et les effets de la pollution atmosphérique : ce que nous apprennent le GIEC et l'OMS

#### 3.1.1 Le changement climatique : la nécessité de la neutralité carbone

Au terme de l'Accord de Paris, adopté en décembre 2015, les États-Membres se sont engagés dans le cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), à :

- « renforcer la riposte mondiale à la menace des changements climatiques, dans le contexte du développement durable et de la lutte contre la pauvreté<sup>152</sup>, notamment en contenant l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et en poursuivant l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels, étant entendu que cela réduirait sensiblement les risques et les effets des changements climatiques »,
- « parvenir à un équilibre entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre au cours de la deuxième moitié du siècle, sur la base de l'équité, et dans le contexte du développement durable et de la lutte contre la pauvreté ».

L'état des connaissances scientifiques est régulièrement mis à jour par le GIEC à partir des publications scientifiques. Son rapport de 2017 sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels indique que :

- « s'inscrivant dans la tendance au réchauffement à long terme enregistrée depuis l'époque préindustrielle, la température moyenne à la surface du globe observée pour la décennie 2006-2015 a été supérieure de 0,87 °C (avec une fourchette probable comprise entre 0,75 °C et 0,99 °C) à la température moyenne pour la période 1850-1900 (degré de confiance très élevé) » : le rapport précise également que si on ne considère que l'année 2017 (et non plus la période 2006-2015), le réchauffement planétaire peut être estimé à environ 1°C au-dessus des niveaux préindustriels, avec une fourchette probable allant de 0,8 °C à 1,2 °C ;
- « il est probable que le réchauffement planétaire atteindra 1,5°C entre 2030 et 2052 s'il continue d'augmenter au rythme actuel (degré de confiance élevé) ». Dans les scénarios de référence dans lesquels aucun effort n'est réalisé pour limiter les émissions, l'augmentation de température devrait dépasser les 3,5 °C en fin de siècle<sup>153</sup> ;

---

<sup>152</sup> La lutte contre la pauvreté est une priorité essentielle de l'action des pays en développement comme l'a bien montré le Sommet de la terre à Rio en 2012.

<sup>153</sup> Cf. cinquième rapport du GIEC.

- « dans les trajectoires qui limitent le réchauffement planétaire à 1,5°C sans dépassement<sup>154</sup> ou avec un dépassement minimum, les émissions anthropiques mondiales nettes de CO<sub>2</sub> diminuent d'environ 45 % depuis les niveaux de 2010 jusqu'en 2030 (intervalle interquartile : 40-60 %), devenant égales à zéro vers 2050 (intervalle interquartile : 2045-2055) » ;
- « pour limiter le réchauffement planétaire à moins de 2 °C, les émissions de CO<sub>2</sub> devraient diminuer d'environ 25 % d'ici à 2030 dans la plupart des trajectoires (intervalle interquartile : 10-30 %) et devenir nulles vers 2070 (intervalle interquartile : 2065-2080) ».

Ce rapport précise en outre les deux conditions<sup>155</sup> à satisfaire pour mettre un terme, avec un degré de confiance élevé, au réchauffement planétaire anthropique sur des échelles de temps multidécennales :

- d'une part, atteindre des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> nettes égales à zéro et les stabiliser à ce niveau ;
- et, d'autre part, diminuer le forçage radiatif effectif autre que celui dû au CO<sub>2</sub>.

Les émissions des transports maritimes et aériens domestiques, internes à chaque État-membre, sont incluses dans l'Accord de Paris, tandis que les émissions de l'aérien et du maritime international relèvent de l'OACI et de l'OMI et ne sont pas concernées par l'Accord de Paris : l'OMI a adopté en avril 2018 un accord appelant à réduire d'au moins 50 % les émissions de gaz à effet de serre du secteur d'ici 2050 (par rapport à 2008), l'OACI et ses États-Membres ont pris un engagement de croissance neutre en carbone à partir de 2020 et devraient débattre d'un objectif de réduction à 2050 lors de la prochaine assemblée générale en 2022.

### 3.1.2 Les effets sur la santé de la pollution atmosphérique

En s'appuyant sur les données scientifiques publiées, l'Organisation mondiale de la Santé publie régulièrement des lignes directrices recommandant de ne pas dépasser des valeurs seuils de concentration des principaux polluants de l'air. Les dernières lignes directrices publiées datent de 2005 et sont en cours de révision. Elles concernent principalement les matières particulaires (PM), l'ozone (O<sub>3</sub>), le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). Hormis pour le plomb, la suite de ce paragraphe provient donc directement du site de l'OMS<sup>156</sup> qui souligne que la pollution de l'air représente un risque environnemental majeur pour la santé.

- **Matières particulaires (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>)** (Source OMS). Les matières particulaires en suspension affectent plus de personnes que n'importe quel autre polluant. Elles sont formées d'un mélange complexe de particules solides et liquides de substances organiques et minérales en suspension dans l'air, comprenant notamment des sulfates, des nitrates, de l'ammoniac, du chlorure de sodium, du carbone, des matières minérales et de l'eau. Elles proviennent de la combustion des énergies fossiles (dans le transport, le chauffage ou l'industrie) mais aussi de procédés industriels ou d'activités comme le génie civil ou la fabrication du ciment. Elles peuvent également se former dans l'atmosphère à partir des transformations chimiques de polluants primaires tels que les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre ou l'ammoniac. Si les particules d'un diamètre n'excédant pas 10 µm (≤ PM<sub>10</sub>) peuvent pénétrer et se loger profondément à l'intérieur des poumons, celles dont le diamètre est inférieur ou égal à 2,5 µm (≤ PM<sub>2,5</sub>) sont encore plus nocives pour la

<sup>154</sup> Revenir à une augmentation de température inférieure à 1,5 °C après un dépassement de ce seuil nécessite d'atteindre des émissions nettes négatives

<sup>155</sup> Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels, point A 2.2 du résumé pour décideurs. Le premier chapitre de ce rapport contient une discussion sur les évolutions possibles de la température consécutives à l'atteinte de la neutralité carbone avec une augmentation ou non du forçage radiatif net autre que celui dû au CO<sub>2</sub>.  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15\\_Chapter1\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter1_Low_Res.pdf)

<sup>156</sup> [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

santé. Elles peuvent en effet franchir la barrière pulmonaire et entrer dans la circulation sanguine. L'exposition chronique aux particules contribue au risque de développer des maladies cardiovasculaires, respiratoires et des cancers pulmonaires.

Il existe un lien étroit et quantitatif entre l'exposition à des concentrations élevées en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>) et un accroissement des taux de mortalité et de morbidité associés à ces pathologies, au quotidien aussi bien qu'à plus long terme. De même, la mortalité liée à une telle exposition baisse à mesure que les concentrations en petites et fines particules sont réduites, en supposant que les autres facteurs restent inchangés.

Selon les lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air, abaisser la concentration moyenne annuelle en particules fines PM<sub>2,5</sub> de 35 µg/m<sup>3</sup>, un niveau communément enregistré dans nombre de villes en développement, à 10 µg/m<sup>3</sup>, soit le niveau préconisé par l'OMS, pourrait réduire le taux de mortalité lié à la pollution de l'air d'environ 15 %. Néanmoins, même dans l'Union européenne, où un grand nombre de villes observent les limites recommandées par l'Organisation, on estime que l'espérance de vie moyenne est amputée de 8,6 mois en raison de l'exposition de la population aux particules fines issues de l'activité humaine.

- **Ozone (O<sub>3</sub>)** (Source OMS) : L'ozone de la couche protectrice dans la haute atmosphère doit être distingué de celui qui se forme dans la partie basse de l'atmosphère et qui est l'un des principaux constituants de la pollution atmosphérique. L'ozone résulte de l'interaction entre le rayonnement solaire et divers polluants, comme les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) émis par les véhicules et l'industrie et les composés organiques volatiles (COV), émis par les véhicules, les solvants et l'industrie : les pics de concentration d'ozone interviennent donc pendant les périodes de temps ensoleillé. À des concentrations trop élevées, l'ozone a des effets marqués sur la santé de l'homme se traduisant par des problèmes respiratoires, le déclenchement de crises d'asthme, une diminution de la fonction pulmonaire et l'apparition de maladies respiratoires. L'ozone est l'un des principaux facteurs de risque de morbidité et de mortalité liées à l'asthme.
- **Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)** (Source OMS) : Le NO<sub>2</sub> provient principalement de la combustion d'énergies fossiles et constitue le principal agent responsable de la formation des aérosols de nitrates, qui représentent une proportion importante des PM<sub>2,5</sub> et d'ozone, en présence de rayons ultraviolets. Les études épidémiologiques ont montré que les symptômes bronchitiques chez l'enfant asthmatique augmentaient avec une exposition de longue durée au NO<sub>2</sub>. On associe également une diminution de la fonction respiratoire aux concentrations actuellement mesurées (ou observées) dans les villes d'Europe et d'Amérique du Nord.
- **Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)** (Source OMS) : Le dioxyde de soufre provient de l'oxydation du soufre lors de la combustion des énergies fossiles ou du traitement de certains minerais. Il affecte le système respiratoire et le fonctionnement des poumons et provoque des irritations oculaires. Il peut aggraver l'asthme et les bronchites chroniques. En se transformant avec l'eau en acide sulfurique, il peut être à l'origine de pluies acides. On sait maintenant que le SO<sub>2</sub> a des effets sur la santé à des concentrations bien plus faibles qu'on ne le soupçonnait auparavant. L'OMS recommande ainsi de ne pas dépasser des concentrations de 500 µg/m<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub> en moyenne sur 10 minutes.
- **Le plomb** : Le plomb est l'un des métaux les plus nocifs pour la santé humaine. L'OMS le classe parmi les 10 produits chimiques gravement préoccupants pour la santé publique qui appellent une action des États Membres pour protéger la santé des travailleurs, des enfants et des femmes en âge de procréer. Dans son avis relatif à « la contamination d'espaces publics extérieurs par le plomb » rendu en 2019, l'ANSES souligne que « le plomb est un polluant pour lequel des études épidémiologiques ont établi des associations sans seuil entre les niveaux de plombémie et divers

effets sur la santé (cardiovasculaires, rénaux, neurotoxiques, reprotoxiques<sup>157</sup>, retard de croissance, prématurité, etc.) pour certaines catégories de la population et qu'il est particulièrement néfaste pour la santé des jeunes enfants ». Sa concentration dans l'air a très fortement baissé depuis 1990, notamment en raison de la directive européenne du 13/10/98 qui proscrit, sauf dérogation, l'usage du plomb dans les carburants à compter du 1er janvier 2000.

Le tableau ci-dessous établi par le Setra permet de synthétiser les différents effets en prenant en compte également les conséquences de ces émissions sur les bâtiments et les écosystèmes :

### Effets des polluants émis par le secteur des transports

Polluants	Origine du polluant	Effets sur la santé (sous certaines concentrations)	Effets sur les bâtiments et les écosystèmes
Oxydes d'azote NO <sub>2</sub>		Irritant pour les bronches Augmente la fréquence et la gravité des crises d'asthme Favorise les infections pulmonaires chez les enfants	Acidification Formation d'ozone Altération de la couche d'ozone
Particules fines PM	Combustion incomplète. Abrasion des pneus et des disques de frein	Irritant et altération des voies respiratoires Propriétés mutagènes et cancérigènes en fonction de la composition	Salissure des bâtiments
Dioxyde de soufre SO <sub>2</sub>	Oxydation du soufre contenu dans les combustibles fossiles	Troubles respiratoires	Acidification Dégradation des bâtiments
Composés organiques volatils (COV)	Combustion incomplète des combustibles fossiles	Toxicité (dépendante du produit) Cancers pour certains (benzène par exemple)	Formation d'ozone
Monoxyde de carbone CO	Combustion incomplète des combustibles fossiles	Se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang Exposition prolongée peut conduire au coma et à la mort	Formation d'ozone

Source : SETRA (2010) « Monétarisation des externalités environnementales », Rapport d'études, Service d'études sur les transports, les routes et leur aménagement.

## 3.2 La méthodologie de comptabilisation

Dans ce chapitre, sauf exception, nous utiliserons les données provenant :

- pour les gaz à effet de serre, du rapport officiel des émissions de gaz à effet de serre rédigé par le Citepa<sup>158</sup> et transmis au Secrétariat de la convention cadre des Nations-Unies pour le changement climatique. Elles sont présentées dans le format dit du protocole de Kyoto qui pour la France englobe le territoire métropolitain, la Guyane, la Guadeloupe, la Martinique, la Réunion et Mayotte. Conformément à ce format international, ces données fournissent les émissions des sept gaz à effet de serre direct entrant dans le cadre du protocole de Kyoto [le gaz carbonique ou dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), les halocarbures (HFC et PFC), le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>) et le trifluorure d'azote (NF<sub>3</sub>)<sup>159</sup>] et

<sup>157</sup> Un produit classé reprotoxique affecte les capacités reproductrices, en réduisant la fertilité ou en entraînant la stérilité.

<sup>158</sup> Créé en 1961, le Citepa, Centre national de référence des inventaires, des projections et des expertises en matière de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre (GES), est une association à vocation scientifique et à but non lucratif. <https://www.citepa.org/fr/>

<sup>159</sup> Ce gaz ne faisait pas initialement partie des gaz à effet de serre entrant dans le protocole de Kyoto : il a été ajouté à la liste lors de la Cop de Durban en 2011 : [https://unfccc.int/files/meetings/durban\\_nov\\_2011/decisions/application/pdf/awgkp\\_outcome.pdf](https://unfccc.int/files/meetings/durban_nov_2011/decisions/application/pdf/awgkp_outcome.pdf)

donnent pour ces sept gaz des émissions en CO<sub>2</sub> équivalent. Un tel inventaire, comme nous le verrons plus loin, ne permet de calculer que de manière partielle les conséquences des émissions d'un secteur ou d'un pays sur le réchauffement climatique. Pour les estimer, les scientifiques doivent également tenir compte des émissions des aérosols (particules, vapeur d'eau, noir de carbone,...) ainsi que des émissions de gaz neutres du point de vue de l'effet de serre, mais dont les transformations chimiques dans l'atmosphère conduisent à modifier les concentration de gaz à effet de serre : les émissions d'oxydes d'azote, provenant de la combustion des moteurs thermiques, conduisent notamment à l'apparition d'ozone troposphérique qui contribue à l'effet de serre ;

- pour les polluants atmosphériques, du rapport officiel des émissions de polluants atmosphériques également rédigé par le Citepa et transmis par la France à la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE-NU). Les données correspondent aux substances liées à l'acidification, à l'eutrophisation et à la pollution photochimique, aux métaux lourds, aux produits organiques persistants et aux poussières (totales et fines), soit au total 24 polluants couverts par la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à Longue Distance et la directive « NEC » (*National Emission Ceiling*) sur les réductions d'émissions nationales de polluants. La couverture géographique est la France métropolitaine. Là encore, il s'agit d'émissions directes.

La méthodologie précise de calcul de ces différentes émissions figure dans un rapport du Citepa<sup>160</sup>, auquel nous renvoyons le lecteur. Les principaux éléments que l'on peut en retenir pour l'aérien et le maritime sont les suivants :

- afin d'éviter les double-comptes dans le bilan mondial des émissions de gaz à effet de serre, les émissions de GES des transports internationaux aériens, maritimes et fluviaux ne sont pas comptabilisées dans les inventaires nationaux. Le rapport national ne fait apparaître dans le bilan de chaque pays que les émissions dites domestiques de chacun des modes de transport, autrement dit les émissions liées à des trajets partant et arrivant sur le territoire français, au sens du protocole de Kyoto : les émissions des liaisons vers les Antilles françaises ou la Réunion sont donc prises en compte dans l'aérien et le maritime domestique ;
- hors bilan, le rapport fournit néanmoins des données sur les émissions de gaz à effet de serre associées aux trajets (aériens, maritimes et fluviaux) partant du territoire français et arrivant dans un pays étranger : conformément à la méthodologie internationale, ce sont les émissions associées aux ventes de carburant effectuées sur le territoire français qui sont comptabilisées pour cet usage. Ces chiffres ne fournissent donc aucun renseignement sur les émissions du transport des produits importés et ne peuvent donc pas être corrélés au trafic maritime international au sens habituel du terme ou à la part du trafic maritime international transportant des marchandises vers la France. Enfin, il ne rend pas compte des émissions des transports maritimes qui partent de France mais s'approvisionnent en carburant dans un autre pays ;
- dans les bilans d'émissions qu'elles font paraître, les institutions européennes consolident les données d'émission de l'UE à partir des bilans nationaux fournis par chacun des membres. Elles prennent donc en compte comme trafic international la somme des trafics internationaux de chaque pays. Les trafics entre deux pays européens, qui devraient être considérés comme des trafics domestiques pour l'Europe, sont donc considérés comme trafic international : ceux-ci sont pris en compte dans les bilans d'émissions de l'OMI ou de l'OACI (même si les données permettent de décomposer les émissions des secteurs aérien et maritime internationaux en aérien et maritime intra-européens et aérien et maritime hors UE). Si le caractère national ou international de la pêche peut donner lieu à débat, la pêche est affectée en totalité au périmètre national dans l'inventaire national français d'émissions même si les zones de pêche s'étendent

---

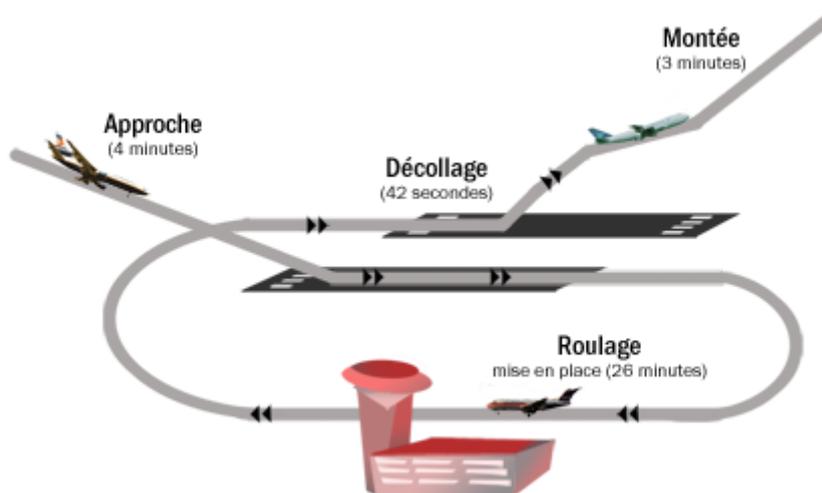
<sup>160</sup> Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France, OMINEA - 16ème édition Mai 2019, rapport Citepa. <https://www.citepa.org/fr/ominea/>

bien au-delà des eaux territoriales et des zones économiques exclusives (ZEE) ;

- les émissions atmosphériques autres que les GES sont déterminées selon des méthodes analogues à celles décrites pour les GES. Cependant, dans l'aérien, seules sont considérées les émissions des polluants atmosphériques intervenant en-dessous de 1000 mètres, car pouvant être corrélées à un départ ou à une arrivée d'un aéroport français ;
- les émissions du secteur aérien sont comptabilisées chaque année aussi bien pour les vols commerciaux que non commerciaux. Elles sont estimées de manière extrêmement fine grâce à un logiciel développé par la DGAC (TARMAC), en liaison avec le Citepa, qui permet de les reconstituer pour chaque phase de vol à partir des caractéristiques de l'avion :
  - la phase dite « LTO (*Landing and Take Off*) » qui comprend le décollage, la montée jusqu'à 3000 pieds, soit environ 1000 m, l'approche (de 3000 pieds à l'atterrissage), le roulage et le stationnement] ;
  - au-delà de cette altitude, la phase dite d'évolution [qui comprend la montée (de 3000 pieds à l'altitude de croisière) et réciproquement la descente jusqu'à 3000 pieds] et la phase de croisière (correspondant à la partie du vol effectuée à une altitude stabilisée).

Dans le calcul des émissions de polluants atmosphériques (et contrairement au bilan de gaz à effets de serre), seules la phase de LTO et les émissions en dessous de 3000 pieds qui ont un impact direct sur la qualité de l'air locale<sup>161</sup> sont prises en compte. De plus, la phase de LTO étant associée à un aéroport de départ / d'arrivée, des émissions individualisées par aéroport peuvent ainsi en être déduites. Un traitement approprié des informations de provenance et destination permet de déterminer au sein du trafic international, la fraction correspondant aux liaisons intra UE .

### Schéma des différentes phases d'un cycle LTO



Source : Airparif (<http://survol.airparif.fr/observatoire/quelle-pollution-autour-aeroports>)

Pour les territoires d'Outre-mer inclus ou non dans l'UE, c'est le bilan de l'énergie compilé par le Citepa qui est utilisé. Les données de ventes de carburants à usage de l'aviation civile<sup>162</sup>, commerciale comme

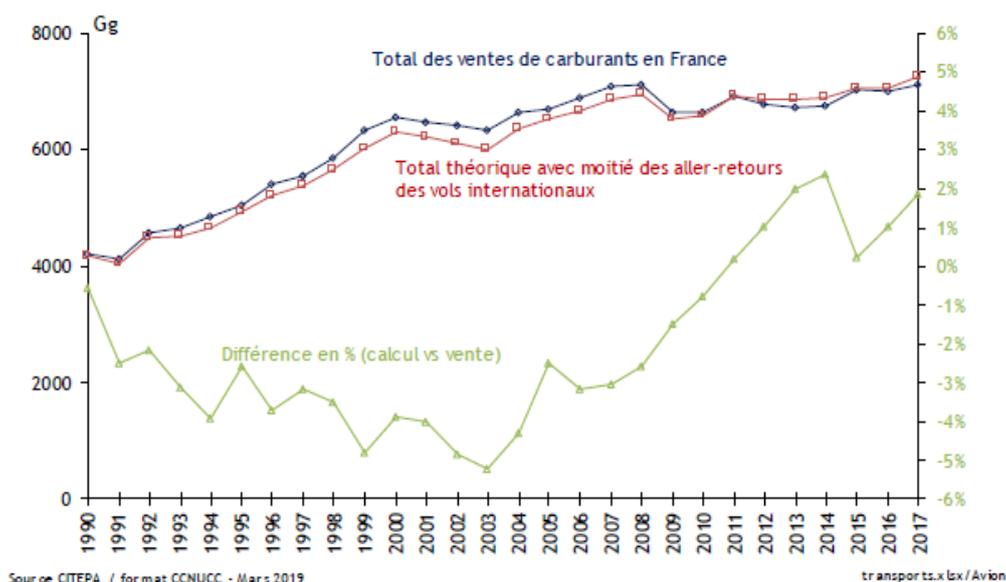
<sup>161</sup> [https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/calc\\_emis\\_aero.pdf](https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/sites/default/files/calc_emis_aero.pdf)

<sup>162</sup> Hors aviation militaire comportée dans une autre rubrique

non commerciale, permettent enfin de s'assurer de la bonne corrélation des résultats avec les consommations totales de carburants avions, compte tenu, comme l'indique la DGAC, que l'aviation non commerciale représente environ 4 % des émissions du secteur aérien. Les émissions non liées à la consommation d'énergie nécessaire au fonctionnement opérationnel de l'avion (abrasion des pneus, des freins, de la piste) sont déterminées en fonction du nombre de cycles LTO au moyen de facteurs d'émission<sup>163</sup> ;

La figure ci-dessous, extraite du rapport CCNUCC 2019 (page 221) montre que la reconstitution théorique des émissions et des consommations de carburant est en très bon accord avec les ventes de carburants constatées (avec des différences variant de -3,1 % à 0,5 %).

### Comparaison entre les consommations théoriques de l'aviation (reconstituées par le logiciel DGAC Citepa) et les ventes totales françaises de carburants



- les émissions atmosphériques du **transport maritime** dépendent de la nature des combustibles utilisés, qualifiés assez naturellement de soutes dans ce secteur. Pour arriver à quantifier de façon précise les émissions atmosphériques liées aux combustions, selon la zone de navigation, le type de navire, sa jauge et les diverses phases de navigation (navigation hauturière, approche et départ du port, mouillage en rade ou stationnement à quai), les inventaires nationaux devraient être en mesure d'affecter à chaque navire et à chaque trajet une estimation de la quantité de soute consommée et des émissions associées.

Compte tenu du poids des émissions du transport maritime domestique (inférieur à 5 %) dans le total national, et contrairement au secteur aérien qui s'est doté du logiciel TARMAC, la DGITM et le Citepa ont préféré jusqu'en 2019 procéder à une estimation simplifiée réalisée à partir d'une étude de 2000<sup>164</sup>, qui permet non pas d'évaluer le trajet par navire mais seulement de répartir le volume des soutes maritimes consommées chaque année en France entre trafic intérieur et international sur la base des chiffres obtenus en 2000. Cette méthode de répartition a été appliquée de 2005 à 2019 ;

<sup>163</sup> Voir notamment sur ce point le rapport Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France OMINEA - 16ème édition Mai 2019, rapport Citepa.

<sup>164</sup> Selon une étude réalisée par le Citepa en 2000, les navires sous pavillon français consommaient 6 % de leurs soutes sur des trajets nationaux et 94 % sur des trajets internationaux tandis que les navires sous pavillon non français soutant en France sont réputés n'effectuer que des trajets internationaux.

- de même, dans le secteur du **transport fluvial**, les émissions sont estimées par rapport aux consommations de carburant. Mais comme les motorisations fluviales sont assez proches de celle du transport routier et comme VNF dispose d'une base de données relative au trafic fluvial exprimée en tonnes-kilomètres par tronçon de réseau aussi bien au niveau domestique qu'international (les données sont reprises par la CCTN dans ses rapports annuels), il est plus aisé de relier trajet fluvial exprimé en tonnes-kilomètres et consommation unitaire par tonne kilomètre. Les consommations sont alors calculées en multipliant ces données d'activité par l'intensité énergétique ;
- **le rapport Secten 2020** effectuée pour la première fois la distinction entre transport fluvial et plaisance (en reconstituant les séries longues depuis 1990), alors qu'auparavant ces émissions étaient regroupées dans une même rubrique ;
- pour **la plaisance**, les émissions sont calculées à partir des données de la CCTN qui fournit les consommations attribuées à la plaisance et autres engins, en retirant la consommation estimée pour les autres engins (des secteurs résidentiel/tertiaire et agriculture/sylviculture ainsi que la consommation de gazole du secteur ferroviaire): l'incertitude associée aux résultats de cette méthode par défaut est donc plus élevée et devrait conduire à des travaux complémentaires dans le futur ;
- les émissions de **la pêche** figurent dans une catégorie à part et sont calculées à partir des quantités de carburants vendues à partir des données du Comité professionnel du pétrole, ainsi que, pour le gazole, du bilan d'énergie de la France métropolitaine. Pour les départements et régions d'Outre-mer (DROM), les consommations totales de combustibles sont établies selon le bilan d'énergie réalisé au Citepa.

### Les améliorations possibles à l'avenir

Tout ceci illustre le caractère actuel très estimatif des évaluations des émissions du maritime. Mais il se trouve qu'à l'avenir, deux initiatives, visant à la fois l'amélioration de la consommation énergétique et la réduction des émissions de gaz à effet de serre et émanant, pour l'une, de l'Union européenne et, pour l'autre, de l'OMI, devraient permettre de disposer de données plus précises à partir de 2021 :

- l'Union européenne s'est en effet dotée à partir du mois de juillet 2015 du cadre juridique permettant de surveiller, de déclarer et de vérifier les émissions (MRV *Monitoring, Reporting, Verifying*) du secteur maritime ;
- l'OMI a adopté de son côté des amendements à l'Annexe VI de Marpol sur le système de collecte des données relatives à la consommation de fuel-oil des navires<sup>165</sup>. En vertu de ces amendements, les navires d'une jauge brute égale ou supérieure à 5000 tonneaux sont tenus de recueillir les données relatives à la consommation de chaque type de *fuel-oil* utilisé à bord, ainsi que d'autres données spécifiées comme, par exemple, les indicateurs indirects pour les activités de transport (distance parcourue, temps passé). Cette base de données sur la consommation de *fuel-oil* des navires est l'un des modules du Système mondial intégré de renseignements maritimes de l'OMI (GISIS), auquel les États Membres ont accès<sup>166</sup>.

L'Agence européenne de l'environnement dispose donc, depuis la fin 2019, de données précises de consommation énergétiques par navire ce qui devrait permettre, à terme, d'améliorer l'estimation des émissions de GES et de polluants atmosphériques.

Il est à noter les travaux complémentaires suivants allant dans le sens d'améliorations possibles :

---

<sup>165</sup> Adoptés par la résolution MEPC.278(70), et entrés en vigueur le 1er mars 2018.

<sup>166</sup> Lettre circulaire OMI n°3837

- un travail exhaustif à partir des données du système d'identification automatique (AIS)<sup>167</sup> a été mené dans le cadre de la mise en place de la zone ECAMED : la réalisation d'une étude identique sur les autres zones de navigation (Atlantique, Outre-mer) permettrait de disposer de données actualisées sur le niveau de pollution atmosphérique lié à la navigation présente dans ces zones ;
- un travail fin de détermination des émissions par leur mesure est en cours avec le Grand Port Maritime de Nantes Saint-Nazaire (GPMNSN) pour la drague Samuel de Champlain, qui vient d'être remotorisée au GNL : même si la diversité de la flotte de navires rend difficile la généralisation d'un travail fin par type de navire, ceci devrait permettre de mieux étalonner les émissions du GNL.

### 3.3 Les effets des émissions de l'aérien sur le climat et sur la pollution atmosphérique

Ce paragraphe, consacré à l'aérien, détaille dans un premier temps les émissions de gaz à effet de serre, puis les autres effets sur le climat, avant d'évoquer les émissions de polluants atmosphériques de ce secteur. Le bilan des connaissances scientifiques est précisé dans les différents paragraphes.

#### 3.3.1 Les émissions directes de gaz à effet de serre

Le bilan des émissions de gaz à effet de serre de l'aérien peut être appréhendé à partir du tableau et de la figure ci-dessous qui reflètent les émissions de gaz à effet de serre de l'aérien domestique dans le format du protocole de Kyoto de 1990 à 2017, ainsi que, conformément aux recommandations du Haut Conseil pour le Climat, celles de l'aérien international (définies, comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, comme les émissions des transports aériens internationaux provenant des carburants achetés sur le territoire français). Ces émissions, données en tonnes de CO<sub>2</sub> équivalentes<sup>168</sup>, ne comprennent que les gaz à effet de serre directement émis par l'aérien et le maritime, en l'occurrence le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>, le méthane CH<sub>4</sub> (provenant de la combustion incomplète des carburants) et le protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O. Cette comptabilité ne prend donc pas en compte les autres effets des émissions sur le climat comme nous le verrons plus loin.

---

<sup>167</sup> Des bases de données rassemblant les informations extraites du système d'identification automatique (AIS) croisées avec le registre Lloyd's, Fairplay, ont permis de reconstruire à très haute résolution environ 85 % des trajectoires de navires à fort tonnage naviguant en mer Méditerranée pour les années 2015 et 2016. *ECAMED : étude de faisabilité technique de la mise en œuvre d'une zone de réduction des émissions des navires (ECA) en Méditerranée.*

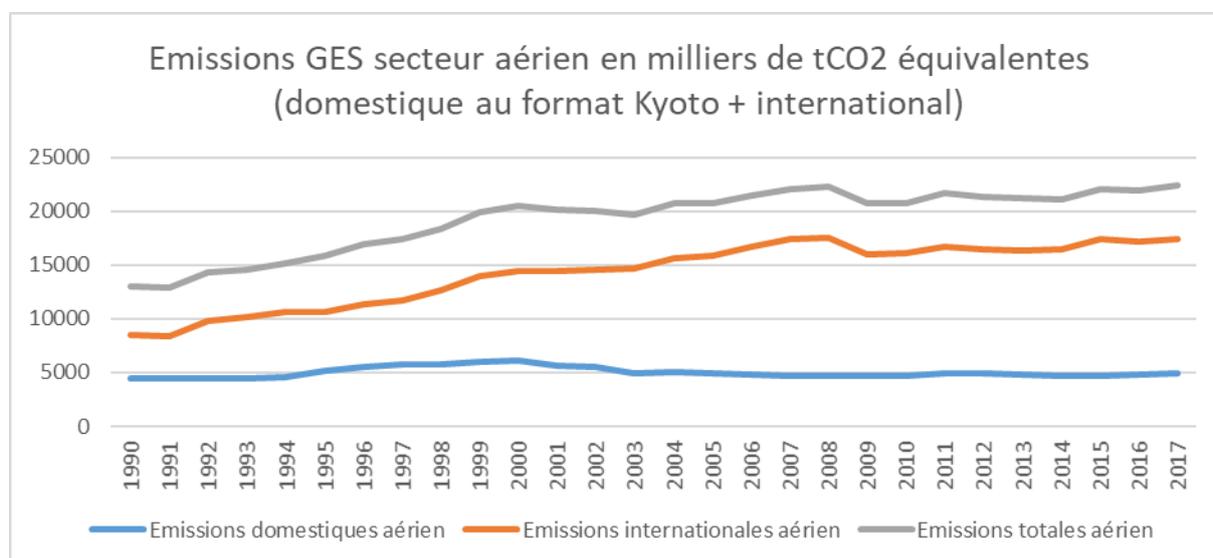
<sup>168</sup> L'émission en équivalent CO<sub>2</sub> est la quantité émise de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) qui provoquerait le même forçage radiatif intégré, pour un horizon temporel donné, généralement 100 ans, qu'une quantité émise d'un seul ou de plusieurs gaz à effet de serre.

Emissions de gaz à effet de serre du secteur de l'aérien				
Emissions de gaz à effet de serre Format protocole de Kyoto* en MtCO <sub>2</sub> e (hors UTCATF = hors émissions liées à l'utilisation des terres et au changement d'affectation des terres et de la foresterie)			Pourcentage par rapport aux émissions françaises (tous secteurs) en 2017	
	1990	2017		Evolution par rapport à 1990
Emissions de gaz à effet de serre de la France (tous secteurs)	548,1	464,6	100,0%	-15,2%
Emissions du secteur des transports	124,4	139,0	29,9%	11,7%
Emissions aérien domestique	4,5	5,0	1,1%	10,9%
Emissions de gaz effet de serre de la France (tous secteurs) incluant l'aérien international	556,6	482,0	100,0%	-13,4%
Emissions aérien international (non inclus dans le format protocole Kyoto)	8,5	17,4	3,6%	103,7%
Emissions total secteur aérien (domestique + international)	13,0	22,4	4,6%	71,7%

\*Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

Source : rapport du Citepa à la CCNUCC 2019 et 2020; calculs CGEDD

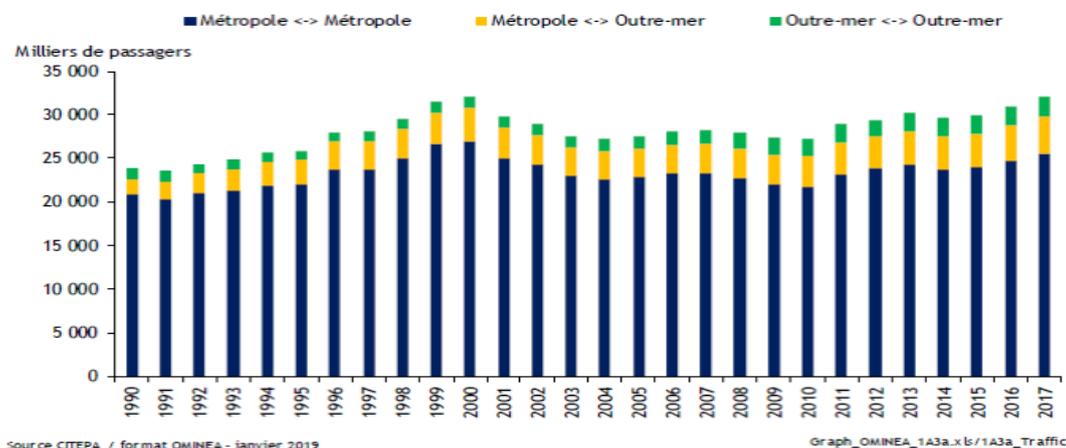
Les émissions de l'aérien représentent environ 1,1 % des émissions de gaz à effet de serre de la France, mais 4,6 % lorsqu'on prend en compte les émissions internationales de ce secteur.



Les émissions de l'aérien domestique et international ont augmenté de 70 % de 1990 (13 MtCO<sub>2</sub>e) à 2007 (22MtCO<sub>2</sub>e), et, après une chute liée à la crise économique, elles connaissent une très faible progression depuis 2009 alors que le trafic aérien international a repris sa croissance exponentielle comme le montre le graphique ci-dessous. La DGAC souligne en particulier qu'entre 2000 et 2018, le nombre de passagers équivalents kilomètres transportés a augmenté de 62 % tandis que la croissance des émissions de CO<sub>2</sub> du transport aérien en France a été limitée à 21 %, soit une diminution de 25 % des émissions unitaires (en kg de CO<sub>2</sub> par passager équivalents-km- transporté), correspondant à une

décroissance moyenne de 1,6 % par an. Ce décalage entre la croissance du trafic et la hausse des émissions résulte principalement des progrès techniques apportés aux générations successives d'avions ainsi que de la gestion du trafic aérien. De 1990 à 2017, les émissions du secteur aérien sont néanmoins en hausse de 72 %. L'évolution du trafic aérien domestique est notablement différente puisque le nombre de passagers est sensiblement le même entre 2017 et 2000.

### Trafic aérien domestique en milliers de passagers



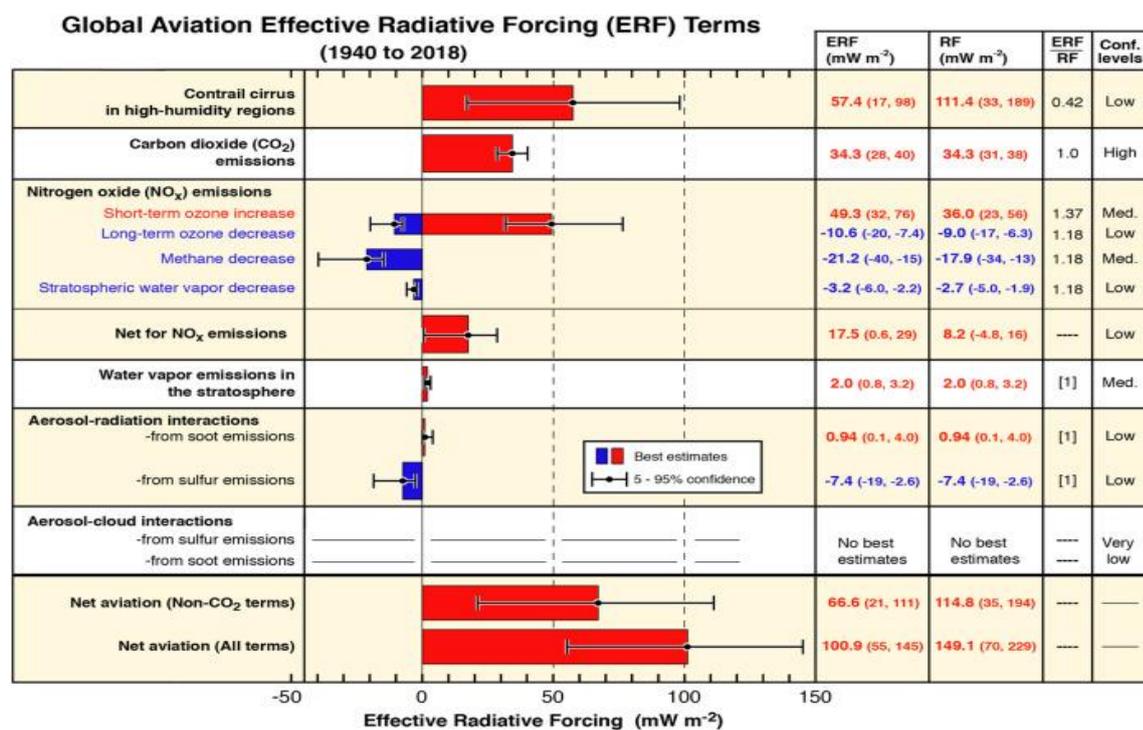
### Trafic aérien international en milliers de passagers



### 3.3.2 Les autres effets sur le climat de l'aérien

L'indicateur des émissions de CO<sub>2</sub> équivalentes ne permet pas de rendre compte des autres effets de l'aérien sur le climat. Ceux-ci nécessitent de recourir aux notions supplémentaires de bilan radiatif et de forçage radiatif effectif qui traduisent de façon plus intuitive de l'effet de serre. Le bilan radiatif exprimé en W/m<sup>2</sup>, correspond au flux d'énergie reçu par le système terrestre mesuré au sommet de la troposphère : c'est la différence entre le flux énergétique de la lumière en provenance du soleil et celui renvoyé par le système terrestre principalement sous forme d'infrarouges. L'effet de serre résulte de l'accumulation dans l'atmosphère d'un certain nombre de gaz, dits gaz à effet de serre, qui vont laisser passer (plus ou moins) la lumière du soleil tout en renvoyant vers le sol une partie du rayonnement infrarouge émis par la surface de la terre. Cet effet peut ainsi être mesuré en termes de forçage radiatif par rapport à la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle, qui correspond à l'évolution du bilan radiatif entre cette date et aujourd'hui, autrement dit au supplément d'énergie renvoyé vers la surface terrestre. Dans cette

unité, les émissions du secteur aérien représentaient en 2011 un forçage radiatif effectif d'environ 88,4 mW/m<sup>2</sup> [27 – 149W/m<sup>2</sup>], soit 4 % du forçage radiatif anthropique effectif, dont la valeur moyenne était estimée à 2,29 W/m<sup>2</sup> [1.13 – 3.33 W/m<sup>2</sup>]. Après un pic à 3 W/m<sup>2</sup> en milieu de siècle, le scénario du GIEC RCP 2,6 repose ainsi sur une valeur du forçage radiatif anthropique de la planète (au sommet de la troposphère) par rapport à 1750 qui atteindrait une valeur de 2,6 W/m<sup>2</sup> en 2100. En première approximation, un forçage radiatif effectif de 1 W/m<sup>2</sup> peut être associé sur le long terme à une augmentation de température de 0,8 °C<sup>169</sup>. Une publication plus récente de Lee et al.<sup>170</sup> actualise le bilan des effets du secteur aérien mondial sur le climat : dans ce nouveau calcul, présenté dans le tableau ci-dessous, le forçage radiatif effectif du secteur aérien serait d'environ 100,9 mW/m<sup>2</sup> pour l'année 2018, dans une fourchette d'incertitude comprise entre 55 et 145 mW/m<sup>2</sup>.



Source : *The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing from 1940 to 2018*, Lee and al.

L'influence sur le climat de l'aviation provient essentiellement de trois effets<sup>171</sup> :

- i) les émissions de CO<sub>2</sub> (déjà mentionnées dans le paragraphe précédent) ;
- ii) les émissions d'oxydes d'azote notés NO<sub>x</sub> ;
- et iii) le forçage radiatif effectif résultant des traînées de condensation et des cirrus induits. Les particules de soufre et de suie émises par l'aérien ont un effet plus faible comme le montrent les valeurs du tableau ci-dessus.

<sup>169</sup> Cette relation est valable à l'échelle du système terrestre : elle n'est donc pas valable pour une augmentation locale du facteur radiatif.

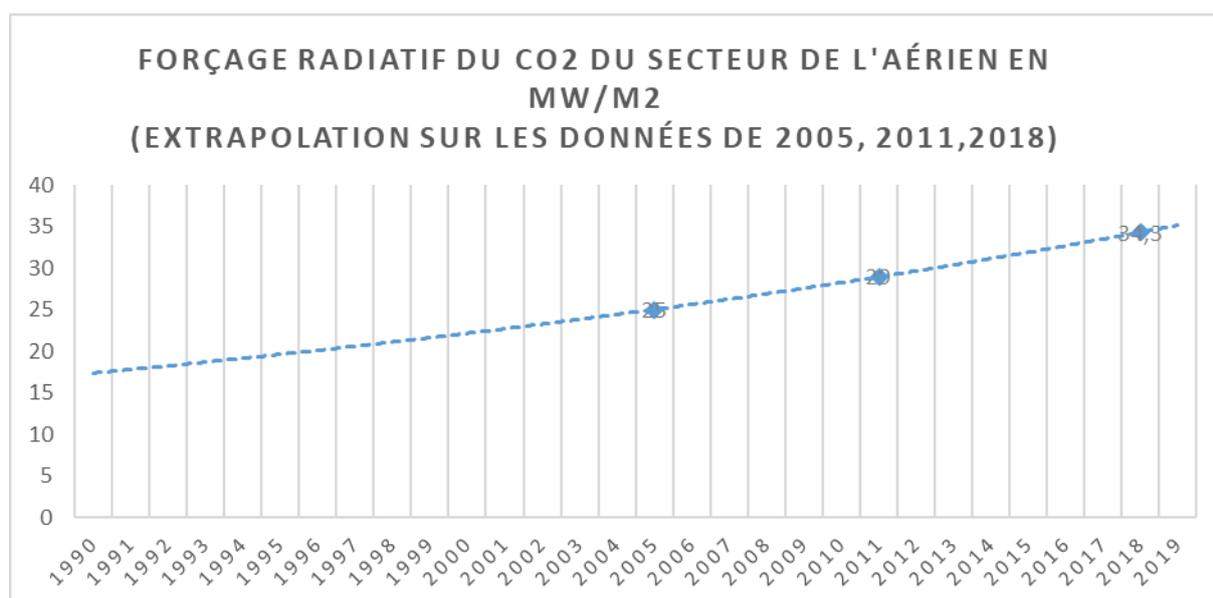
<sup>170</sup> *The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018*, Lee, D.S., Fahey, D.W., Skowron, A., Allen, M.R., Burkhardt, U., Chen, Q., Doherty, S.J., Freeman, S., Forster, P.M., Fuglestedt, J., Gettelman, A., De León, R.R., Lim, L.L., Lund, M.T., Millar, R.J., Owen, B., Penner, J.E., Pitari, G., Prather, M.J., Sausen, R., Wilcox, L.J.,// Atmospheric Environment (2020), <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>.

<sup>171</sup> Les traînées aérodynamiques constituent des effets négligeables en comparaison des précédents.

### 3.3.2.1 Les émissions de carbone : un effet de stock

Dans cette unité, les émissions de CO<sub>2</sub>, représentent en 2018 un forçage radiatif effectif d'environ 34,3 mW/m<sup>2</sup>, soit 34 % du forçage radiatif effectif anthropique<sup>172</sup> dû à l'aérien à cette date, qui est voisin de 100,9 mW/m<sup>2</sup>. Ce terme correspond au supplément d'énergie renvoyée vers la terre par l'ensemble du CO<sub>2</sub> émis par le secteur aérien depuis ses origines qui s'accumule dans l'atmosphère dans une sorte d'effet de stock. Ce calcul suppose donc, pour le CO<sub>2</sub> (comme pour les NOx qui seront traités dans le paragraphe suivant), la reconstitution des émissions historiques de l'aviation depuis 1940. De tels chiffres n'incluent pas les émissions à l'amont.

En prenant les valeurs figurant dans la publication déjà citée de Lee and al., le forçage radiatif effectif du CO<sub>2</sub> du secteur de l'aviation accumulé dans l'atmosphère peut être représenté par la courbe suivante :



Source : forçages radiatifs du CO<sub>2</sub> du secteur de l'aviation pour les années 2005, 2011 et 2018 figurant dans la publication de Lee and al., extrapolation graphique réalisée par le CGEDD sous forme d'une courbe exponentielle<sup>173</sup>.

### 3.3.2.2 Les émissions de NOx

Le second terme est lié aux émissions de monoxyde d'azote (NO) et de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) qui ne sont pas des gaz à effet de serre. Ces émissions conduisent par contre i) à l'apparition d'ozone troposphérique conduisant à un forçage radiatif effectif positif et ii) à la disparition de méthane (réagissant à la présence d'OH) avec un forçage radiatif effectif négatif. Ce forçage négatif est, de plus, iii) renforcé par la réduction de la concentration d'ozone, liée à la baisse de la concentration du méthane (qui est également un précurseur d'ozone et dont la baisse conduit à une diminution de la formation d'ozone). En 2018, le forçage radiatif (en prenant comme référence le bilan radiatif estimé à la date de 1750) de l'aérien dû à ce terme était estimé à environ 17,5 mW/m<sup>2</sup>.

Ce terme est néanmoins difficile à calculer : le degré de confiance de cette valeur est donc faible. Contrairement aux émissions de CO<sub>2</sub> qui conduisent (en première approximation) à une augmentation identique du forçage radiatif quels que soient le lieu et la date de leur production, les effets sur le

<sup>172</sup> Dans le cas du carbone, le forçage radiatif est (quasiment) équivalent au forçage radiatif effectif.

<sup>173</sup> Cette courbe est proportionnelle à l'intégrale des émissions annuelles de CO<sub>2</sub> qui en première approximation peut être assimilée à une exponentielle.

forçage radiatif effectif des émissions de NO<sub>x</sub> vont dépendre de l'endroit où elles sont émises : suivant les conditions physico chimiques présentes au moment de l'émission, et donc suivant la période de l'année<sup>174</sup>, suivant la latitude et suivant la concentration initiale plus ou moins importante de NO<sub>x</sub>, les effets sur le forçage radiatif effectif ne seront pas les mêmes – ce qui rend d'autant plus difficile le calcul du forçage radiatif effectif correspondant. Ce terme représente environ 15 % du forçage radiatif lié à l'aérien.

Il convient de souligner<sup>175</sup> que les émissions d'un avion volant dans le haut de la troposphère ou le bas de la stratosphère conduisent à des productions d'ozone nettement plus importantes que dans les couches plus basses de la troposphère, et donc à un forçage radiatif effectif plus important. Au contraire, pour un avion volant à des altitudes moins élevées, la destruction d'ozone peut même l'emporter (au bout de quelques mois) sur la production, diminuant ainsi le forçage radiatif effectif<sup>176</sup>.

### 3.3.2.3 Les traînées de condensation et les cirrus induits : un enjeu à prendre en compte

La combustion (incomplète) des moteurs d'avions va produire de la vapeur d'eau, des oxydes de soufre et des particules. Dans une atmosphère saturée en humidité, la vapeur d'eau présente dans les émissions (mais aussi dans l'air ambiant) se transforme au contact des particules de suie et de soufre en gouttelettes d'eau, qui, dans des conditions de température (inférieure à - 40 °C) et de pression (vol à plus de 8000 mètres) spécifiques, peuvent d'abord se sublimer en particules de glace, puis donner lieu aux traînées aériennes que l'on voit dans le ciel, puis éventuellement se transformer en cirrus présents dans la partie haute de la troposphère. Contrairement aux nuages bas présents dans le ciel qui ont un effet refroidissant, les cirrus sont beaucoup plus transparents à la lumière et conduisent à un effet réchauffant significatif. Dans un bilan énergétique sur une journée, les nuages bas vont avoir tendance généralement à réfléchir plus fortement le rayonnement du soleil vers l'espace qu'à arrêter le rayonnement infra-rouge renvoyé par la surface terrestre : ils auront donc un effet global refroidissant (même si un nuage bas dans un ciel nocturne conduit à réchauffer l'atmosphère). Au contraire, pour les cirrus aéro-induits situés dans la partie haute de la troposphère, qui sont relativement transparents à la lumière du soleil, c'est l'effet de réflexion des infrarouges qui l'emporte : ils vont donc avoir un effet global réchauffant. Au total, les traînées de condensation et les cirrus induits par l'aviation provoqueraient un facteur radiatif supplémentaire de 57 mW/m<sup>2</sup> : le cinquième rapport du GIEC<sup>177</sup> de 2013 et le rapport environnement 2016 de l'OACI<sup>178</sup> relatif au secteur aérien mondial donnaient les mêmes ordres de grandeur, d'environ 50 mW/m<sup>2</sup>, en soulignant les incertitudes. Comme les cirrus n'ont qu'une durée de vie de quelques heures, cet effet est essentiellement un effet de flux proportionnel au trafic aérien : si celui-ci s'arrête ou si une nouvelle

---

<sup>174</sup> Voir notamment : *Temporal and spatial variability in the aviation NO<sub>x</sub>-related O<sub>3</sub> impact*, Gilmore, Christopher K, Steven R H Barrett, Jamin Koo, and Qiqi Wang, *Environmental Research Letters* 8, no. 3 (September 1, 2013): 034027. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/3/034027>

<sup>175</sup> *Aviation 2006 NO<sub>x</sub>-induced effects on atmospheric ozone and HO<sub>x</sub> in Community Earth System Model (CESM)*, A. Khodayari, S. Tilmes, S. C. Olsen, D. B. Phoenix, D. J. Wuebbles, J.-F. Lamarque, C.-C. Chen <https://acp.copernicus.org/articles/14/9925/2014/>

<sup>176</sup> Voir également sur ce point : *Does the location of aircraft nitrogen oxide emissions affect their climate impact ?* Stevenson, David S.; Derwent, Richard G., *Geophysical Research Letters*, Volume 36, Issue 17, CiteID L17810, September 2009, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2009GL039422>

<sup>177</sup> *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth*

*Assessment Report*. IPCC, 2013 : "Based on these two studies we assess the combined contrail and contrail-induced cirrus ERF for the year 2011 to be +0.05 (+0.02 to +0.15) W m<sup>-2</sup> to take into uncertainties on spreading rate optical depth, ice particle shape and radiative transfer and the ongoing increase in air traffic (see also Supplementary Material). A low confidence is attached to this estimate".

<sup>178</sup> *White Paper On Climate Change Aviation Impacts On Climate: State Of The Science* : <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/env2016.aspx> : "Further, the IPCC estimates the combined contrail and contrailcirrus effective RF from aviation to be 50 (20–150) mW m<sup>-2</sup> with low confidence while noting important uncertainties of spreading rate, optical depth, ice particle shape, and radiative transfer processes".

technologie apparaît ne donnant pas lieu à cet effet, ce facteur disparaît. Il laisse néanmoins une trace (faible) de plus long terme dans le supplément d'énergie emmagasiné par l'océan : comme le souligne le cinquième rapport du GIEC, le réchauffement océanique constitue l'essentiel de la hausse de la quantité d'énergie emmagasinée au sein du système climatique et représente plus de 90 % de l'énergie accumulée entre 1971 et 2010 (degré de confiance élevé), environ 1 % seulement étant emmagasinée dans l'atmosphère.

Dans la mesure où le trafic aérien serait multiplié par 4 d'ici 2050 et où les technologies resteraient les mêmes, l'article paru en juin 2019 de Lisa Bock and d'Ulrike Burkhardt<sup>179</sup> indique que ce forçage radiatif pourrait donc être multiplié par un coefficient supérieur à 3 dans certains scénarios.

Cette valeur du forçage radiatif atteindrait dès aujourd'hui des valeurs de l'ordre de 300 à 400 mW/m<sup>2</sup> dans des zones présentant un fort trafic aérien<sup>180</sup>, - telles que le ciel des États-Unis ou de l'Europe -, voire<sup>181</sup> de 1 W/m<sup>2</sup>, sans qu'il soit possible d'en tirer des conclusions quant à une influence sur la température locale.

En l'état actuel des connaissances scientifiques, ces valeurs comportent de fortes incertitudes : les valeurs présentées ci-dessus proviennent en effet de travaux de modélisation particulièrement approfondis notamment de chercheurs du DLR<sup>182</sup> et n'ont pas fait l'objet, à notre connaissance, de modèles aussi approfondis de la part d'autres équipes de recherche, françaises en particulier, ce qui aurait pu conduire à un débat scientifique contradictoire nécessaire à l'avancement de la connaissance. Néanmoins, leurs ordres de grandeur sont tels qu'ils doivent être pris en compte dans les stratégies aériennes. Les conditions mêmes de formation de ces cirrus donnent en effet des pistes de réduction de cet effet qui n'apparaît que i) dans des zones saturées en humidité, ii) pour des vols au-dessus de 8 000 mètres et iii) qui est favorisé par le rejet d'oxydes de soufre et de particules de suie.

#### **La notion de forçage radiatif effectif**

La notion de forçage radiatif effectif a été introduite par le GIEC pour pouvoir comparer les effets sur la température du système terrestre du forçage radiatif d'un facteur (de la vapeur d'eau par exemple) ou d'un secteur (l'aérien ou le maritime par exemple) à celle d'une concentration de CO<sub>2</sub> supplémentaire répartie de façon homogène dans l'atmosphère : ces effets vont en effet être différents en raison de la non homogénéité dans l'atmosphère du facteur étudié (entraînant par exemple un forçage radiatif plus important à l'équateur qu'aux pôles) ou des effets de ce facteur sur l'atmosphère qui vont modifier d'autres paramètres intervenant dans le réchauffement de l'atmosphère (la formation de cirrus « déshydrate » par exemple l'atmosphère).

Le GIEC (et le tableau des émissions du secteur aérien figurant dans l'article de Lee et al. déjà cité) distinguent deux concepts différents en partant de la notion de bilan radiatif qui peut être défini comme la différence mesurée au sommet de la troposphère entre le flux d'énergie reçu depuis le soleil et celui renvoyé par l'atmosphère terrestre dans l'espace, autrement dit à l'énergie supplémentaire reçue par l'atmosphère terrestre :

i) le forçage radiatif d'un facteur ou d'un secteur influençant le climat qui correspond à la différence entre le bilan radiatif de ce facteur ou de ce secteur à un moment donné par rapport à celui de ce même facteur en 1750 : dans cette unité, le forçage radiatif de l'aérien était, selon les chiffres de Lee et al.,

---

<sup>179</sup> *Contrail cirrus radiative forcing for future air traffic*, Bock, L. and Burkhardt, 2019, *U Atmos. Chem. Phys.*, 19, 8163–8174, <https://doi.org/10.5194/acp-19-8163-2019>

<sup>180</sup> Voir notamment l'article de Lisa Bock and d'Ulrike Burkhardt (cf note précédente) ou la synthèse de Kärcher (cf note suivante).

<sup>181</sup> *Formation and radiative forcing of contrail cirrus*. Kärcher, B. *Nat Commun* 9, 1824 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04068-0>

<sup>182</sup> Le Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, plus connu sous son abréviation DLR, est le centre de recherche allemand pour l'aéronautique et l'astronautique.

pour 2018 de 149,1 mW/m<sup>2</sup> [associée à une fourchette d'incertitude allant de 70 à 229 mW/m<sup>2</sup> et à un faible degré de confiance] ; celui des traînées de condensation et des cirrus induits du secteur aérien de 111,4 mW/m<sup>2</sup> [associé à une fourchette d'incertitude allant de 33 à 189 mW/m<sup>2</sup> et à un faible degré de confiance] ;

ii) le forçage radiatif effectif de ce facteur qui corrige le précédent terme pour pouvoir le comparer au supplément du forçage radiatif du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Une concentration supplémentaire de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère va en effet conduire (en première approximation) à un forçage radiatif (calculé pour le CO<sub>2</sub> en prenant la température de surface de la terre en 1750, et l'ajustement de température de la stratosphère qui intervient en quelques mois) et à une augmentation de la température du système terrestre que l'on peut approcher (en première approximation) par une relation linéaire  $\Delta T_s = \lambda \Delta RF$ , où  $\lambda$  (lambda) est le paramètre de sensibilité au climat (°K/(W/m<sup>2</sup>)).

Si, pour prendre l'exemple d'un gaz, sa concentration n'est pas homogène dans l'atmosphère, verticalement ou horizontalement, ou si ce facteur entraîne des ajustements rapides de la troposphère ou des ajustements de la stratosphère, différents de ceux provoqués par les émissions de CO<sub>2</sub>, la réponse de la température au forçage radiatif sera différente. Dans le cas de l'aérien, le forçage radiatif effectif en 2018 est ainsi réduit à 66,1 mW/m<sup>2</sup> (avec une fourchette d'incertitude allant de 21 à 111 mW/m<sup>2</sup>). Cette réduction s'explique notamment par le fait que les cirrus de l'aviation « déshydratent la haute atmosphère », ou, autrement dit, agglomèrent une grande quantité d'eau qui était déjà présente dans l'atmosphère avant le passage de l'avion et qui ne générera donc plus de « cirrus naturels ». Au total, l'effet réchauffant est donc moindre et le facteur radiatif effectif des contrails et des cirrus induits par l'aviation n'est plus que de 57,4 mW/m<sup>2</sup> [17 ;98] contre 111,4 [33,189] (avec un fort degré d'incertitude). Au contraire, le supplément de forçage radiatif effectif du surplus d'ozone dit de court terme (autrement dit sans tenir compte de la baisse de concentration en méthane qui réduit à long terme la concentration d'ozone) engendré par l'aérien dans l'atmosphère va être supérieur d'environ 40 %, - 49,3 mW/m<sup>2</sup> [32 ;76] contre 36 mW/m<sup>2</sup> [23,56] -, à son forçage radiatif en raison de la sensibilité forte du forçage à des molécules ajoutées dans la haute troposphère, de l'ajustement rapide de température de la stratosphère ainsi que d'un accroissement d'ozone provenant du secteur aérien plus important dans la zone polaire boréale et aux latitudes moyennes, ce qui provoque un réchauffement plus important que si les émissions avaient été réparties de manière uniforme à la surface de la terre<sup>183</sup>. La répartition non homogène des cirrus induits par l'aviation dans l'atmosphère terrestre doit également être prise en compte dans le passage du forçage radiatif au forçage radiatif effectif des cirrus de l'aviation.

La quantification du passage de la notion de forçage radiatif à celle de forçage radiatif effectif représente une étape supplémentaire de modélisation : à l'incertitude déjà présente dans le RF des contrail-cirrus s'ajoute donc maintenant l'incertitude du calcul ERF/RF qui demande l'utilisation de modèles climatiques et donc une dépendance forte avec la représentation des processus physiques dans les différents modèles. Ces deux notions ne prennent pas en compte des ajustements à plus long terme de l'atmosphère liés à l'augmentation du forçage radiatif et au réchauffement climatique tels que l'augmentation du taux d'humidité dans l'atmosphère terrestre ou que l'évolution de la quantité de nuages à basse altitude. De telles évolutions sont intégrées dans la réponse de l'atmosphère terrestre et dans l'évolution de sa température à l'augmentation du forçage radiatif dans son ensemble (autrement dit dans la valeur du lambda de l'équation précédente). Elles devraient être précisées dans le sixième rapport du GIEC.

Des travaux complémentaires devront par ailleurs être menés pour préciser jusqu'à quel point l'augmentation de la température du système terrestre du forçage radiatif effectif ainsi calculé d'un facteur ou d'un secteur est équivalente à celle du de forçage radiatif du CO<sub>2</sub>.

<sup>183</sup> Voir sur ce point : *Potential of the cryoplane technology to reduce aircraft climate impact: A state-of-the-art assessment*, Michael Ponater, Susanne Pechtl, Robert Sausen, Ulrich Schumann, Gerhard Hüttig, 2006, et *Response of climate to regional emissions of ozone precursors: sensitivities and warming potentials*, Berntsen, T.K., Fuglestedt, J.S., Joshi, M.M., Shine, K.P., Stuber, N., Ponater, M., Sausen, R., Hauglustaine, D.A., Li, L., 2005.. *Tellus* 57B, 283-304.

Soulignons enfin, pour finir, le besoin d'études sur les effets qui pourraient résulter d'un grand nombre de vols dans la stratosphère. Aujourd'hui, la plupart des vols aériens s'effectuent dans la troposphère qui constitue la partie basse de l'atmosphère. Dans la couche immédiatement supérieure, appelée stratosphère (dont la limite inférieure est située entre six et seize kilomètres selon la latitude), la température augmente avec l'altitude (alors qu'elle diminue dans la troposphère), l'air y est beaucoup plus sec, et les conditions physico-chimiques, plus généralement, sont différentes. Les conséquences sur le réchauffement climatique, sur la couche d'ozone, et plus généralement sur l'environnement, d'un très grand nombre de vols dans la couche stratosphérique mériteraient d'être étudiées plus avant :

- les émissions d'un avion volant dans le haut de la troposphère ou le bas de la stratosphère<sup>184</sup> conduisent à des productions d'ozone nettement plus importantes que dans les couches plus basses de la troposphère, et donc à un forçage radiatif effectif plus important. Au contraire, pour un avion volant à des altitudes moins élevées, la destruction d'ozone peut même l'emporter (au bout de quelques mois) sur la production, diminuant ainsi le forçage radiatif effectif<sup>185</sup> ;
- ainsi que le souligne l'article de Kärcher, la partie basse de la stratosphère (16-20 km) est trop sèche pour donner lieu à l'apparition de traînées de condensation et de cirrus, mais de tels vols augmenteraient la quantité de vapeur d'eau et d'acide nitrique contenue dans cette couche et pourraient affecter la couche d'ozone. Le tableau présenté ci-dessus estime le forçage radiatif effectif provenant de la vapeur d'eau émise aujourd'hui par l'aviation dans la stratosphère à une valeur voisine de 2 mW/m<sup>2</sup>.

### 3.3.3 Les émissions de polluants atmosphériques du secteur aérien

Ce paragraphe traite d'abord des émissions globales de polluants de l'aérien, puis du cas particulier des aéroports. Conformément aux travaux du Citepa et en conformité avec les règles de déclaration des inventaires, il ne prend en compte que les émissions du trafic aérien domestique et international en-dessous de 1000 m d'altitude qui ont un impact direct sur la qualité de l'air locale.

#### 3.3.3.1 Les émissions globales de polluants du secteur de l'aérien

Une première information est donnée par le tableau ci-dessous, extrait du rapport Secten publié par le Citepa au premier semestre 2019, des émissions en 2017 du secteur du transport. Il donne les polluants dont les émissions dépassent 1 % du total national.

Pour l'aérien, deux polluants ressortent : les NO<sub>x</sub> (1,2 % du total) et le plomb (4,1 %). Les rejets de NO<sub>x</sub> proviennent principalement de la combustion des aéronefs : leur augmentation de 53 % de 1990 à 2017, comparable à celle des émissions de CO<sub>2</sub> (71 %) sur la même période, et rapportée à un trafic passager qui a plus que doublé sur la même période, rend compte du progrès technique accompli dans la motorisation et le design des appareils. Si les rejets de plomb ont diminué sur cette période de 97 % dans l'ensemble des transports et de 99 % dans le routier, en raison de la suppression de l'essence plombée depuis le 1er janvier 2000, il n'a diminué que de 48 % dans le domaine de l'aérien. Le plomb est en effet toujours présent dans l'essence (AVGAS 100LL avec un facteur d'émission de 0,560 g/litre) pour les moteurs à pistons de l'aviation légère domestique (avion de loisirs par exemple). Consciente de ce problème, la FAA mène un programme de tests et de qualifications de carburants sans plomb<sup>186</sup>.

---

<sup>184</sup> Aviation 2006 NO<sub>x</sub>-induced effects on atmospheric ozone and HO<sub>x</sub> in Community Earth System Model (CESM), A. Khodayari, S. Tilmes, S. C. Olsen, D. B. Phoenix, D. J. Wuebbles, J.-F. Lamarque, C.-C. Chen, <https://acp.copernicus.org/articles/14/9925/2014/>

<sup>185</sup> Voir également sur ce point: *Does the location of aircraft nitrogen oxide emissions affect their climate impact?* David S. Stevenson, Richard G. Derwent, First published: 11 September 2009 <https://doi.org/10.1029/2009GL039422>

<sup>186</sup> <https://www.faa.gov/about/initiatives/avgas/>

	Total National			Total transports			Routier <sup>(1)</sup>			Aérien <sup>(2)</sup>		
	2017	1990	Δ%	2017	% par rapport au total national <sup>(3)</sup>	Δ%	2017	% par rapport au total national <sup>(3)</sup>	Δ%	2017	% par rapport au total national <sup>(3)</sup>	Δ%
NO <sub>x</sub> (Gg)	807	1 969	-59	513	64	-61	459	57	-63	10	1.2	53
COVNM (Gg)	612	2 466	-75	70	11	-93	57	9.2	-94	1.2	0.20	-66
CO (Gg)	2 695	10 285	-74	452	17	-92	327	12	-94	8.4	0.31	-17
HFC (Gg CO <sub>2</sub> e)	18 067	4 402	310	3 254	18	-	3 178	18	-	16.4	0.09	-
CO <sub>x</sub> (Tg)	336	396	-15	129	38	8.2	123	37	9	3.65	1.08	-0.04
CO <sub>2</sub> e (Tg CO <sub>2</sub> e)	452	542	-17	134	30	11	128	28	12	3.7	0.82	0.3
As (Mg)	5.5	17	-68	1.4	26	35	1.4	26	35	-	-	-
Cd (Mg)	3.2	21	-85	0.5	16	-20	0.5	15	-21	-	-	-
Cr (Mg)	21	392	-95	1.9	9.2	18	1.9	9.0	19	-	-	-
Cu (Mg)	206	223	-7.6	189	92	19	143	69	35	-	-	-
Ni (Mg)	30	276	-89	1.8	6.0	-33	1.4	4.5	7.4	-	-	-
Pb (Mg)	113	4 293	-97	59	52	-99	54	48	-99	4.7	4.1	-48
Zn (Mg)	495	2 219	-78	295	60	12	291	59	12	-	-	-
TSP (Gg)	049	1 243	-32	48	5.6	-47	41	4.8	-49	0.64	0.08	12
PM <sub>10</sub> (Gg)	254	557	-54	36	14	-55	31	12	-57	0.51	0.20	17
PM <sub>2.5</sub> (Gg)	164	432	-62	27	17	-62	25	15	-64	0.39	0.24	20
PM <sub>1.0</sub> (Gg)	120	363	-67	17	15	-71	16	13	-73	0.25	0.21	28
BC (Gg)	28	73	-62	14	50	-71	13	47	-58	0.18	0.66	27
HAP (Mg) <sup>(4)</sup>	18	46	-60	2.7	15	-12	2.6	14	-11	-	-	-
PCDD-F (g-TEQ)	102	1 782	-94	17	16	-10	17	16	-10	-	-	-

(1) Somme des HAP toxé que définis par la CEE/UE : benzopyrène, benzofluoranthène, benzokifluranthène et indène 1,2,3-c-déyletène.  
 (2) CO, NO<sub>x</sub> et autres gaz à effet de serre : selon définitions de la CCMC - les émissions reportées lors totale ne sont pas locales, à savoir les émissions internationales maritimes, fluviales et aériennes.  
 Autres substances : selon définitions de CEE - HAP - les émissions reportées lors totale ne sont pas locales, à savoir les émissions internationales maritimes, en émissions de la plate-forme aéroportuaire et du Citepa, ainsi que le rapport de l'Ademe sur le bilan national des programmes d'action de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques.  
 (3) Les émissions hors LDCAT.  
 (4) Les émissions des routes, des pneumatiques et des freins ont été prises en compte en plus de l'échappement pour les particules (soit PM<sub>10</sub>).  
 (5) Le poste "Bateau" comprend : le transport fluvial, les bateaux de plaisance et autres petits bateaux.

**3.3.3.2 Les émissions liées aux aéroports**

Ces différentes émissions peuvent conduire également à des concentrations locales autour des aéroports : leurs valeurs sont dès lors mesurées par les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA). Dans ce cadre, les principaux polluants considérés sont : les oxydes d'azote NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>), le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures imbrûlés (HC), les composés organiques volatils (COV), le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et les particules. Ils proviennent des avions eux-mêmes mais également du trafic routier induit autour de l'aéroport et des activités sur la plateforme (assistance en escale, entretien, production d'énergie...).

Ces émissions donnent lieu à de nombreux travaux ; citons ainsi les rapports des différentes Associations de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA), les rapports de l'Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroporportuaires (l'ACNUSA), le guide méthodologique des estimations des émissions de polluants et de gaz à effet de serre sur les plateformes aéroportuaires de l'ACNUSA et du Citepa, ainsi que le rapport de l'Ademe sur le bilan national des programmes d'action de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques.

Conformément à l'article 45 de la loi de 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, les principaux aérodromes français ont en effet adopté des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques résultant « des activités directes et au sol de la plateforme aéroportuaire, en matière de roulage des avions et de circulation de véhicules sur la plateforme notamment » en termes d'évolution du rapport entre les quantités émises et le nombre d'unités de trafic (UdT) (mesurée en passager équivalent-kilomètre transporté (PKTeq) avec l'équivalence 100kg de fret ou de poste ≡ 1 passager).

Ces objectifs étaient fixés à - 10 % à 2020 et à - 20 % à 2025 par rapport à 2010. Ils concernent :

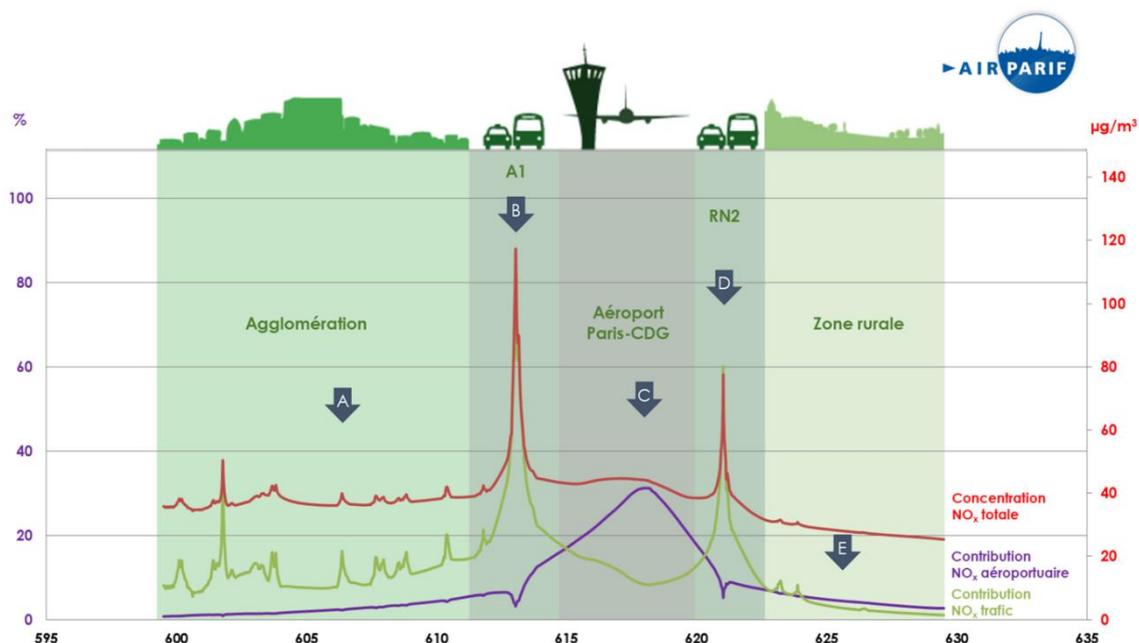
- les gaz à effet de serre, notés GES et mesurés en dioxyde de carbone équivalent (CO<sub>2</sub>e) ;
- les oxydes d'azote, notés NO<sub>x</sub> ;

- les composés organiques volatiles, notés COV ;
- les particules totales en suspension, notés TSP.

De ces différents travaux ressortent trois enseignements :

- l'Ademe soulignait dans son rapport que si l'intensité des émissions devait diminuer conformément aux objectifs fixés, en revanche, les émissions de GES, de NOx et de TSP, qui stagnent sur l'ensemble de la période 2010-2025, pouvaient repartir à la hausse entre 2020 et 2025 : cette remarque est rendue caduque par la crise de la COVID-19;
- les travaux des AASQA analysent précisément les évolutions des concentrations des différents polluants autour des plateformes aéroporutaires. La mission invite donc le lecteur à s'y reporter; citons en particulier les analyses de l'observatoire SURVOL<sup>187</sup> (développé et maintenu par Airparif) pour les plateformes aéroporutaires parisiennes. Elles montrent en particulier l'influence des activités aéroporutaires sur la concentration en NOx sur et autour de la plateforme Roissy Charles de Gaulle : comme l'illustre la figure ci-dessous, celle-ci est significative sur la plateforme elle-même, mais décroît avec la distance pour ne plus représenter que 30 % des concentrations totales d'azote à un kilomètre de celle-ci ; le trafic routier conduit à des concentrations majeures au voisinage de l'A1 et de la RN2 ;

**Coupes des concentrations en oxydes d'azote (NOx) entre la ville de Gonesse (point A) et la commune de Compans (point E). La contribution des activités aéroporutaires et du trafic routier associées aux teneurs en NOx sont représentées.**



Source : Observatoire Survol, Bilan 2017 de la qualité de l'air à proximité des plateformes aéroporutaires, Paris-Charles de Gaulle et Paris-Le Bourget

- les différentes plateformes aéroporutaires ne publient pas chaque année leurs émissions au sens de l'article 45 de la LTECV : on ne peut que le regretter. Quand on ne considère que les émissions liées au secteur aérien pour 2018<sup>188</sup> (et qui ne comprennent donc pas les installations au sol entrant dans le calcul global de l'objectif), pour l'aéroport Roissy-Charles de Gaulle, on constate

<sup>187</sup> Voir notamment : [https://www.airparif.asso.fr/pdf/publications/rapport-survol-orly-bilan\\_2017.pdf](https://www.airparif.asso.fr/pdf/publications/rapport-survol-orly-bilan_2017.pdf)

<sup>188</sup> [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Emissions\\_gazeusesVE.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Emissions_gazeusesVE.pdf)

que l'intensité des émissions a baissé de plus de 20 % de 2010 à 2018 pour les COVNM et de 15 % pour les particules, en bonne adéquation avec les objectifs recherchés. La baisse n'est que de 5 % pour les émissions de CO<sub>2</sub> et devrait se poursuivre avec le renouvellement progressif des différentes flottes. La réduction est plus faible pour les NOx.

Emissions aéroports		Aéroport de Paris - Charles de Gaulle				
		Intensité				Réduction
Unités		2010	2018	2010	2018	intensité 2010/2018
Trafic passagers et fret	milliards	79,9	92,0			
CO <sub>2</sub>	kt	12091,0	13203,0	151,2	143,5	-5,1%
GES	kt	12212,0	13335,0	152,8	145,0	-5,1%
COVNM	t	423,0	381,0	5,3	4,1	-21,7%
NOx	t	4093,0	4647,0	51,2	50,5	-1,3%
PM	t	27,0	26,4	0,3	0,3	-15,0%

## 3.4 Les effets des émissions du maritime sur le climat et sur la pollution atmosphérique

### 3.4.1 Les effets sur le climat du maritime

#### 3.4.1.1 Les émissions de gaz à effet de serre

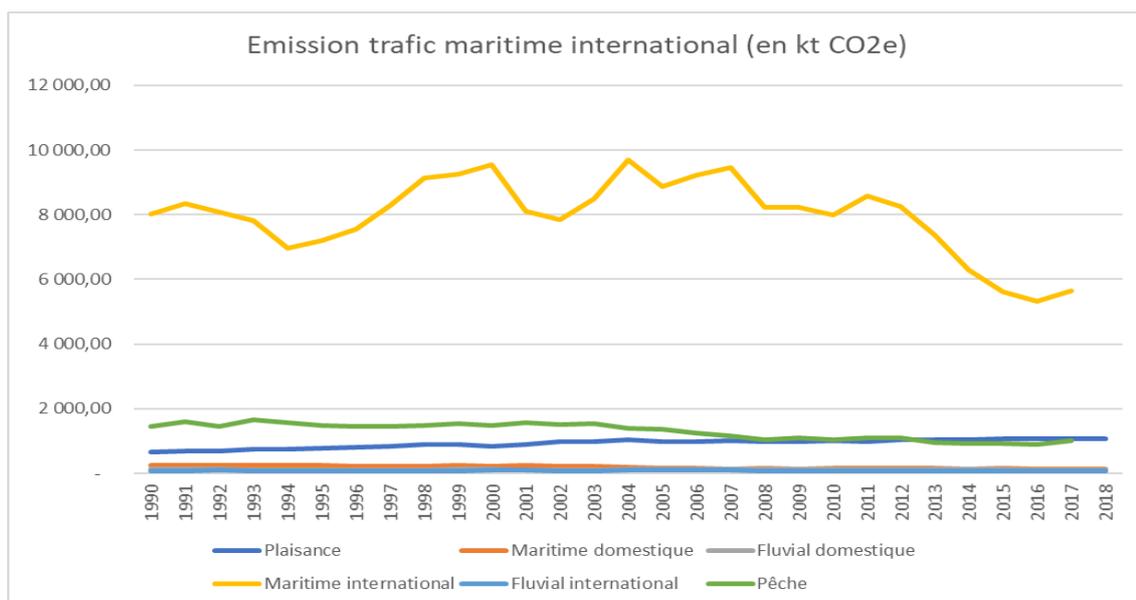
Les bilans des émissions des émissions de gaz à effet de serre du maritime peuvent être appréhendés à partir du tableau et de la figure ci-dessous qui reflètent les émissions de gaz à effet de serre du maritime et du fluvial domestiques, de la pêche et de la plaisance, dans le format du protocole de Kyoto de 1990 à 2017, ainsi que, conformément aux recommandations du Haut Conseil pour le Climat, celles du maritime et du fluvial international (correspondant aux émissions des transports maritimes et fluviaux internationaux provenant des carburants achetés sur le territoire français). Ces émissions, données en tonnes de CO<sub>2</sub> équivalentes, ne comprennent que les gaz à effet de serre directement émis par le maritime, en l'occurrence le dioxyde de carbone, le méthane (provenant de la combustion incomplète des carburants) et le protoxyde d'azote. Cette comptabilité ne prend donc pas en compte les autres effets des émissions sur le climat (particules, soufre...). Elles sont dominées par les émissions du transport maritime international (1,2 % des émissions totales de la France) puis par celles de la plaisance (0,23 %) et de la pêche (0,22 %).

Emissions de gaz à effet de serre du secteur maritime				
Emissions de gaz à effet de serre Format protocole de Kyoto* en MtCO2e (hors UTCATF = hors émissions liées à l'utilisation des terres et au changement d'affectation des terres et de la foresterie)			Pourcentage par rapport aux émissions françaises (tous secteurs) 2017	Evolution par rapport à 1990
	1990	2017		
Emissions de gaz à effet de serre de la France (tous secteurs)	548,07	464,59	100,00%	-15,23%
Emissions transport	124,40	139,00	29,92%	11,74%
Emissions maritime domestique	0,25	0,14	0,03%	-42,79%
Emissions fluvial domestique	0,13	0,10	0,02%	-18,91%
Emissions plaisance	0,67	1,07	0,23%	60,50%
Emissions pêche	1,46	1,02	0,22%	-30,04%
Emissions gaz effet de serre France incluant le maritime international	556,2	470,3	100,00%	-15,44%
Emissions maritime international (non inclus dans le format protocole de Kyoto)	8,03	5,64	1,20%	-29,84%
Emissions fluvial international (non inclus dans le format protocole de Kyoto)	0,09	0,07	0,02%	-17,10%
Emissions total secteur maritime (domestique + international)	8,28	5,78	1,23%	-30,23%
Emissions total secteur fluvial (domestique + international)	0,21	0,18	0,04%	-18,18%

\*Outre-mer périmètre Kyoto (Guadeloupe, St-Martin (partie française), Martinique, Guyane, La Réunion, Mayotte)

Source : rapport du Citepa à la CCNUCC 2019 et 2020; calculs CGEDD

Comme le montre le graphique ci-dessous, les émissions du maritime international ont connu une hausse voisine de 20 % de 1990 à 2007, mais sont en baisse de 30 % sur la période 1990-2017. Ainsi que le Citepa le souligne dans son rapport à la CCNUCC de mars 2019, les consommations du trafic maritime international ont augmenté notablement de 1990 à 2007 en raison de la croissance du trafic, avec cependant des fluctuations dues au contexte économique. La baisse notable depuis 2007 est principalement liée à la concurrence des ports européens.



De fait, si le trafic de conteneurs dans les ports français a augmenté de 28 % depuis 2011, le trafic total de marchandises est quasiment resté le même depuis 2011, avec un trafic en hausse simplement de 2 % sur cette période, en raison principalement de la baisse des vracs énergétiques. Dès lors, la baisse constatée des ventes de carburants marins, et donc des émissions, provient du fait que :

- tous les navires n'avitaillent pas à chaque escale en France,
- et qu'ils ont réduit leur consommation unitaire en raison d'un emport plus important et d'une réduction des vitesses depuis la crise de 2008.

Par ailleurs, le trafic des ferries, lui aussi compté dans cette rubrique est en recul : le trafic transmanche a ainsi baissé de 6 à 9 % depuis 2011 en raison de la concurrence avec Eurotunnel.

Dernier facteur enfin, plus difficilement quantifiable, cette baisse des émissions résulte en partie de l'approvisionnement en carburants de certains navires dans les ports où les carburants sont les moins coûteux.

### E7.b Volumes de marchandises traitées dans les ports de métropole

	millions de tonnes										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Conteneurs	38.8	36.4	38.2	37.7	39.6	42.3	44.0	43.9	43.4	48.6	48.4
Marchandises totales	378.7	345.1	348.1	349.5	332.2	333.5	334.2	337.7	332.4	352.5	355.2

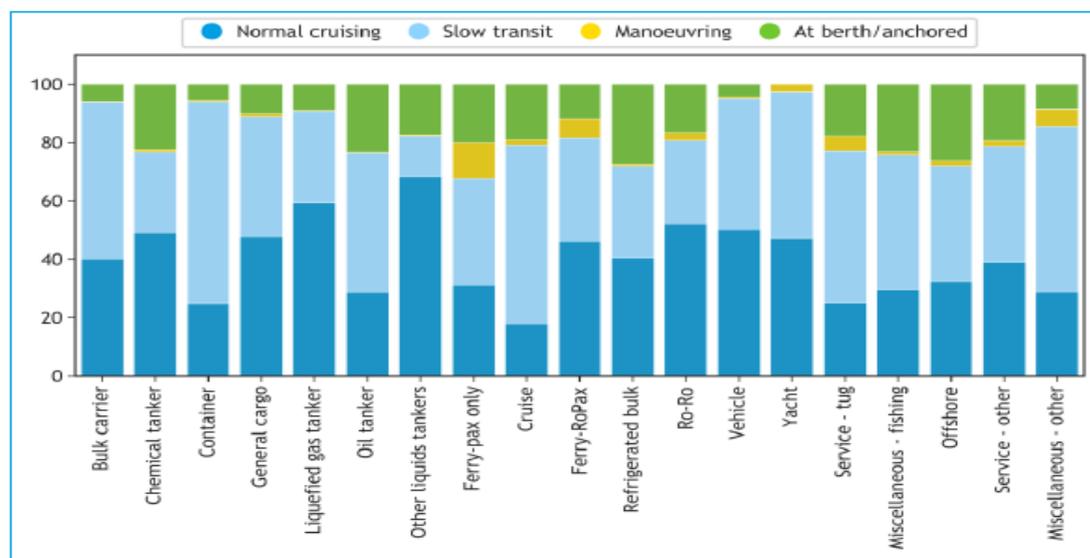
Source : Avant 2011 : MEEM/DGITM/PTF4

Après 2011 : MTES/CGDD/SDES

Le quatrième rapport de l'OMI sur les émissions de gaz à effet de serre du secteur maritime, publié cet été, fournit deux enseignements complémentaires :

- il permet de voir que les émissions à quai ou en rade dépassent les 5 % que l'étude d'impact de l'UE sur le *green shipping* mettait en avant, et atteignent même près de 20 % non seulement pour les navires de croisière, mais aussi pour de nombreux autres navires, en particulier les tankers pétroliers et chimiques, si bien qu'un accent renforcé sur cette question devient urgent ;

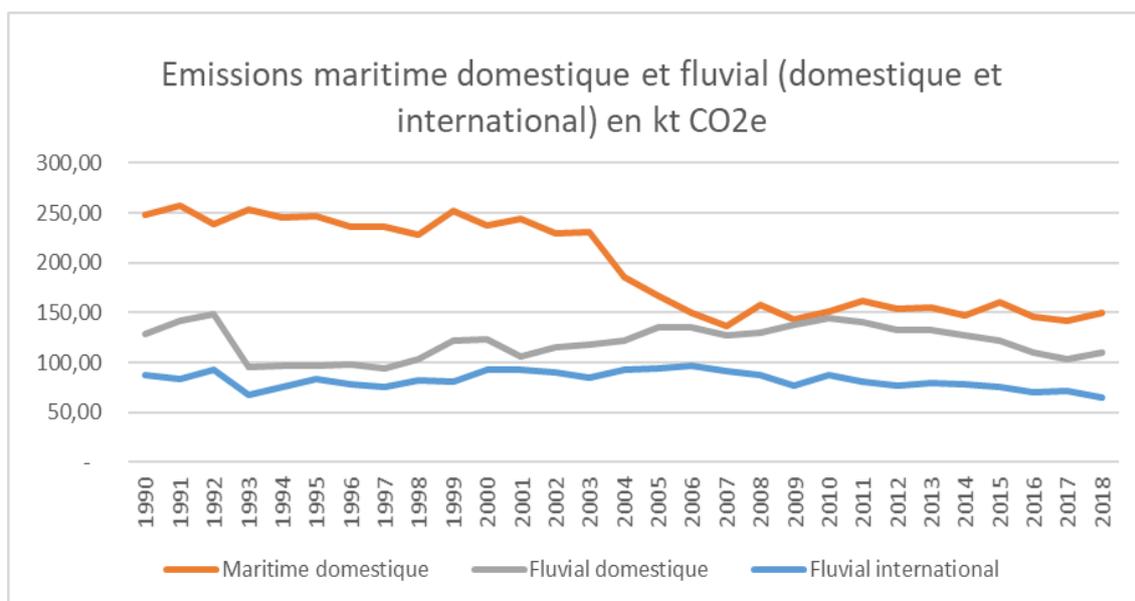
### Proportion of international GHG emissions (in CO<sub>2</sub>e) by operational phase in 2018, according to the voyage-based allocation of emissions. Operational phases are assigned based on the vessel's speed over ground, distance from coast/port and main engine load



Source: UMAS.

- ce sont les émissions de méthane qui, parmi les gaz à effet de serre, ont le plus augmenté d'environ + 150 % (avec une fourchette entre + 151 et + 155 % suivant les différents modes de calcul de l'OMI) de 2012 à 2018 alors que l'emploi du GNL dans le maritime international n'augmentait que de 30 % : depuis 2012, le méthane qui auparavant était utilisé pour le chauffage sert de carburant et donne lieu à des émissions de méthane imbrûlé qui peuvent dans certains cas annuler, en termes d'émissions de gaz à effet de serre, le bénéfice du recours au gaz naturel<sup>189</sup>. Dans un moteur haute pression, la combustion est plus complète, si bien que les imbrûlés de méthane sont plus faibles. Les émissions dépendent aussi du réglage du moteur : les gaz sont injectés dans la culasse avant que la fermeture ne soit complète. Dans ces conditions, un moteur deux temps avec une injection à haute pression va permettre une réduction de 20 à 24 % par rapport à un moteur diesel classique, tandis qu'un moteur quatre temps avec injection basse pression ne conduira qu'à une réduction de 5 à 15 % : pour l'ICCT (*International Council on Clean Transportation*)<sup>190</sup>, il devient, dès lors, nécessaire d'inclure, dans le futur, le méthane dans les normes de conception des navires, l'EEDI. Les inventaires français d'émissions devraient dans le futur préciser la méthodologie de calcul du méthane émis pour tenir compte de ce phénomène.

Les émissions du maritime domestique (transport maritime entre deux ports français) ainsi que du fluvial domestique sont en ordre de grandeur beaucoup plus faibles puisqu'elles ne représentent chacune que moins de 0,03 % des émissions françaises. Celles du maritime domestique auraient connu un net recul, de près de 40 %, de 2003 à 2007 et seraient stables depuis. Les émissions du fluvial aussi bien domestiques qu'internationales reflètent les évolutions de l'activité économique de ce secteur comme le montrent les deux courbes ci-dessous.

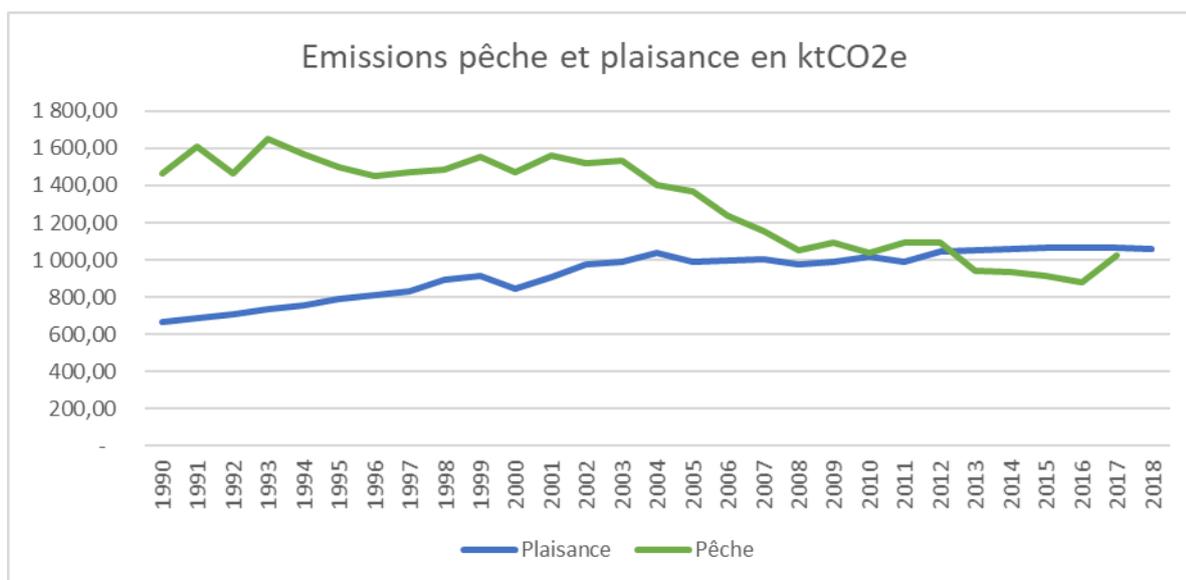
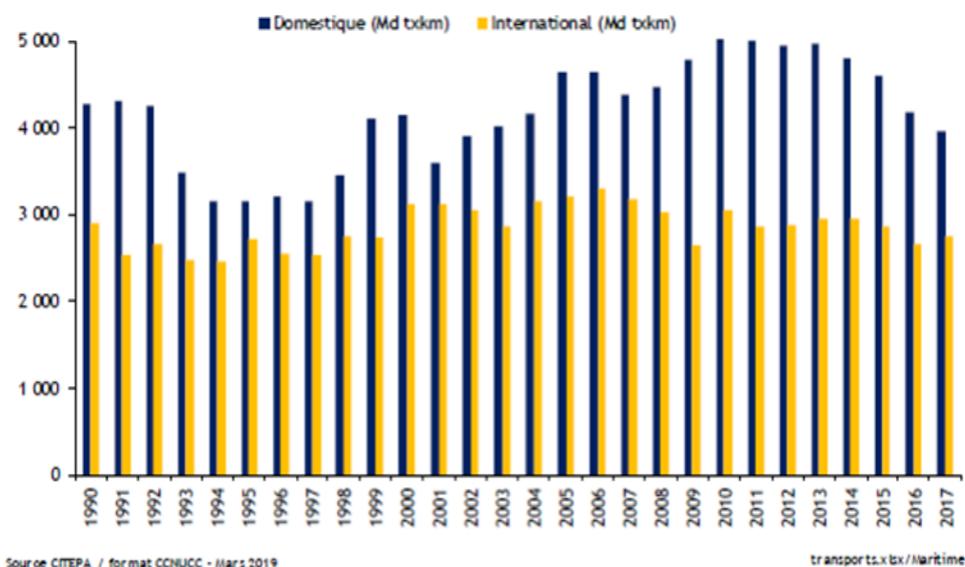


Enfin, les émissions de la pêche et de la plaisance représentent chacune aujourd'hui environ 1 Mt CO<sub>2</sub> équivalentes avec néanmoins deux profils très différents liés à l'évolution du trafic : tandis que celles du secteur de la plaisance connaissent une croissance régulière depuis 1990 (+ 60 % de 90 à 2017), à peine ralenties par la crise du début des années 2000, celles de la pêche décroissent régulièrement depuis 2003 et sont ainsi en recul de près de 30 % sur la même période.

<sup>189</sup> Voir en particulier le rapport réalisé avec la profession et extrêmement bien documenté intitulé : *Life Cycle GHG Emission Study on the Use of LNG as Marine Fuel*, <https://sphera.com/reports/life-cycle-ghg-emission-study-on-the-use-of-lng-as-marine-fuel/>

<sup>190</sup> <https://theicct.org/news/fourth-imo-ghg-study-finalreport-pr-20200804>

Figure 51 : Répartition des tonnes kilométriques du transport fluvial de marchandises entre la partie domestique et internationale.

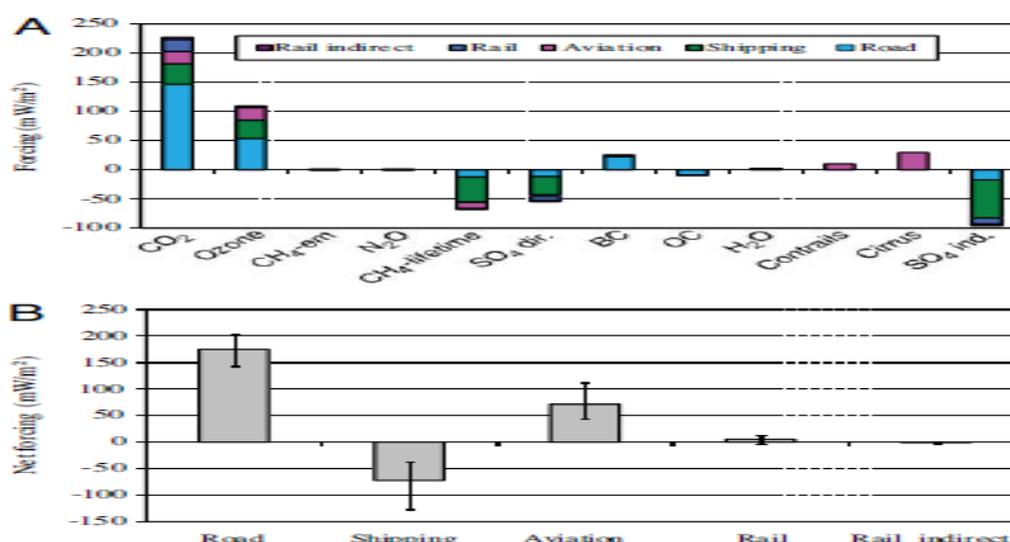


En 2019, France Filière Pêche et l’UAPF ont initié une étude sur les émissions de gaz à effet de serre par la flotte de pêche française : les résultats devraient en être publiés prochainement.

### 3.4.1.2 Les autres effets sur le climat du secteur maritime

Pour mieux apprécier les effets du secteur maritime sur le changement climatique, le même type de démarche que dans l’aérien peut être appliqué en considérant l’impact des émissions du secteur sur les concentrations de gaz à effet de serre dans l’atmosphère ainsi que les émissions d’aérosols, et en recourant là encore à la notion de forçage radiatif instantané.

## Forçage radiatif du secteur des transports en 2000



Source : *Climate forcing from the transport sectors* Jan Fuglestedt, Terje Berntsen, Gunnar Myhre, Kristin Rypdal, and Ragnhild Bieltvedt Skeie<sup>191</sup>

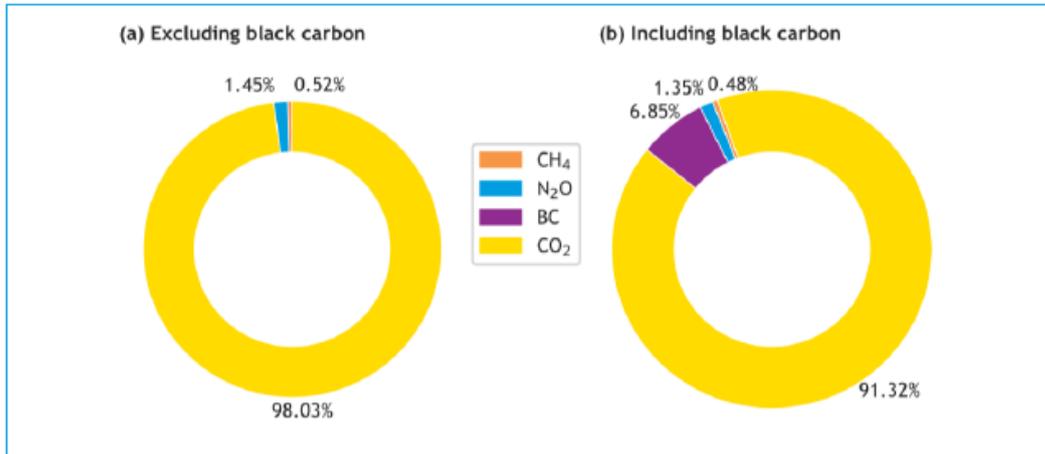
Des travaux maintenant anciens ont montré qu'au total le forçage radiatif des émissions du secteur maritime pouvait être négatif et avait donc un pouvoir refroidissant. Ce résultat provient de trois effets principaux :

- les émissions de NO<sub>x</sub> à la surface du sol vont entraîner une augmentation des concentrations d'ozone (effet réchauffant) et une baisse de la concentration en méthane (effet refroidissant), (ce qui entraîne dans un deuxième temps une légère baisse de la concentration en ozone) ;
- les émissions de SO<sub>2</sub> vont également provoquer un double de refroidissement direct et indirect compte tenu de leur interaction avec les aérosols. Cependant, comme nous le verrons dans le paragraphe suivant, cet effet « bénéfique » doit être combattu compte tenu des conséquences sur la santé ou l'environnement des émissions de NO<sub>x</sub> ou de SO<sub>x</sub> ou de la présence d'ozone à basse altitude ;
- Dernier effet, le maritime émet des particules de suie qui ont un pouvoir réchauffant<sup>192</sup> : le quatrième rapport de l'OMI sur les émissions de gaz à effet de serre du secteur maritime montre que les émissions mondiales de noir de particules de suie ont augmenté de 12 % de 2012 à 2018. Au total, la figure ci-dessous extraite du même rapport de l'OMI montre qu'elles constituent le deuxième contributeur, avec près de 7 %, au réchauffement du secteur du maritime lorsqu'on mesure le pouvoir réchauffant des différents gaz pour une durée considérée de 100 ans :

### Emissions de gaz à effet de serre du secteur maritime international en 2018

<sup>191</sup> <https://www.pnas.org/content/105/2/454>

<sup>192</sup> *Black Carbon Emissions And Fuel Use In Global Shipping*, 2015, ICCT, Bryan Comer, Naya Olmer, Xiaoli Mao, Biswajoy Roy, And Dan Rutherford, [https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global-Marine-BC-Inventory-2015\\_ICCT-Report\\_15122017\\_vF.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global-Marine-BC-Inventory-2015_ICCT-Report_15122017_vF.pdf)



Source : 4<sup>ème</sup> rapport GES de l'OMI - Juillet 2020- fig 78 : la métrique utilisée est le pouvoir de réchauffement global à 100 ans.

### 3.4.2 Les émissions de polluants du secteur maritime

#### 3.4.2.1 Les émissions globales de polluants du secteur maritime

Ce paragraphe concerne les émissions de polluants atmosphériques du maritime (domestique et international) ainsi que du fluvial (dans lequel sera incluse la plaisance).

**TRANSPORTS**

Emissions en 2017 et évolution par rapport à 1990 par mode de transport en unité spécifique en fonction du polluant

Source CITEPA / format SECTEN - Avril 2019 CITEPA-transport.xlsx

	Total National		Total transports		Routier <sup>(a)</sup>		Ferroviaire		Maritime <sup>(b)</sup>		Aérien <sup>(c)</sup>		Fluvial <sup>(d)</sup>								
	2017	1990	2017	% par rapport au total national <sup>(e)</sup>	2017	% par rapport au total national <sup>(e)</sup>	2017	% par rapport au total national <sup>(e)</sup>	2017	% par rapport au total national <sup>(e)</sup>	2017	% par rapport au total national <sup>(e)</sup>	2017	% par rapport au total national <sup>(e)</sup>							
NO <sub>x</sub> (Gg)	807	1 969	-59	513	64	-61	469	57	-43	0.2	1.0	-42	25	3.1	-34	10	1.2	53	10.1	1.3	36
CO <sub>2</sub> (Gg)	612	2 466	-75	70	11	-98	57	9.2	-94	0.6	0.10	-42	1.7	0.28	-19	1.2	0.20	-66	9.4	1.5	-32
CO (Gg)	2 695	10 235	-74	452	17	-92	327	12	-94	2.3	0.09	-42	10.4	0.39	-6	8.4	0.31	-17	104	3.8	-20
HFC (Gg CO <sub>2</sub> e)	18 067	4 402	310	3 254	18	-	3 178	18	-	48	0.26	-	11.3	0.06	-	16.4	0.09	-	-	-	-
CO <sub>x</sub> (Tg)	336	396	-15	129	38	8.2	123	37	9	0.39	0.11	-64	1.03	0.31	-34	3.65	1.08	-0.04	1.2	0.34	46
CO <sub>2</sub> e (Tg CO <sub>2</sub> e)	452	542	-17	134	30	11	128	28	12	0.44	0.10	-60	1.05	0.23	-33	3.7	0.82	0.3	1.2	0.26	40
As (Mg)	5.5	17	-63	1.4	26	35	1.4	26	35	0.00	0.00	-61	0.00	0.05	-69	-	-	-	0.00	0.00	71
Cd (Mg)	3.2	21	-83	0.5	16	-20	0.5	15	-21	0.00	0.00	-61	0.00	0.04	-53	-	-	-	0.02	0.35	83
Cr (Mg)	21	392	-93	1.9	9.2	10	1.9	9.0	19	0.00	0.01	-61	0.01	0.05	-59	-	-	-	0.02	0.09	75
Cu (Mg)	206	223	-7.6	189	92	19	143	69	35	46	22	-14	0.01	0.00	-54	-	-	-	0.06	0.03	81
Ni (Mg)	30	276	-89	1.8	6.0	-33	1.4	4.5	7.4	0.00	0.00	-61	0.44	1.5	-69	-	-	-	0.02	0.06	83
Pb (Mg)	113	4 293	-97	59	52	-99	54	48	-99	0.00	0.00	-61	0.01	0.01	-99.6	4.7	4.1	-40	0.05	0.05	-99.9
Zn (Mg)	495	2 219	-78	295	60	12	291	59	12	0.00	0.00	-61	0.14	0.03	-17	-	-	-	3.5	0.71	83
TSP (Gg)	849	1 243	-32	48	5.6	-47	41	4.8	-49	4.2	0.49	-33	0.58	0.07	-42	0.64	0.08	12	1.5	0.17	43
PM <sub>10</sub> (Gg)	254	557	-54	36	14	-55	31	12	-57	2.0	0.80	-30	0.55	0.22	-42	0.51	0.20	17	1.4	0.56	44
PM <sub>2.5</sub> (Gg)	164	432	-62	27	17	-62	25	15	-64	0.76	0.46	-40	0.52	0.32	-42	0.39	0.24	20	1.3	0.76	41
PM <sub>10-2.5</sub> (Gg)	120	363	-67	17	15	-71	16	13	-73	-	-	-	0.49	0.40	-41	0.25	0.21	28	1.2	0.98	42
BC (Gg)	28	73	-62	14	50	-71	13	47	-80	0.10	0.37	-42	0.14	0.50	-36	0.18	0.66	27	0.26	0.95	3.3
HAP (Mg) <sup>(f)</sup>	18	46	-60	2.7	15	-12	2.6	14	-11	0.02	0.13	-42	0.06	0.33	-34	-	-	-	0.04	0.23	37
PCDD-F (g-TEQ)	102	1 782	-94	17	16	-10	17	16	-10	0.00	0.00	-42	0.04	0.04	-42	-	-	-	0.04	0.04	49

(\*) Somme des HAP très toxiques définis par la CEE-NU : benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et indène(1,2,3-cd)pyrène

(a) CO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O et autres gaz à effet de serre : selon définitions de la CCNUCC - les émissions répertoriées hors total ne sont pas incluses, à savoir les émissions internationales maritimes, fluviales et aériennes

Autres substances : selon définitions de CEE - NU - les émissions répertoriées hors total ne sont pas incluses, à savoir les émissions internationales maritimes, les émissions de la phase croisière (> 1000 m) des trafics aériens domestique et international.

(b) émissions hors LUTCAIT

(c) Lisière des routes, des pneumatiques et des freins est prise en compte en plus de l'échappement pour les particules (sauf PM<sub>2.5</sub>).

(d) Dans le format SECTEN, la pêche nationale est incluse dans le sous-secteur "Maritime".

(e) Le poste "Fluvial" comprend : le transport fluvial, les bateaux de plaisance et autres petits bateaux.

Une première information est donnée par le tableau ci-dessus, extrait du rapport Secten publié par le Citepa au premier semestre 2019, des émissions en 2017 du secteur du transport. Il donne pour le maritime et le fluvial les polluants dont les émissions dépassent 1 % du total national :

- Pour le maritime, deux polluants ressortent : les NOx (1,2 % du total) et le nickel (1,5 %). Les rejets de NOx proviennent principalement de la combustion des navires et leur diminution de 34 % est comparable à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> (- 30 %) sur la même période. Les émissions de nickel (Ni) du secteur maritime, qui résultent de l'utilisation de *fuels* lourds, sont en diminution depuis 1990 (- 69 %), et représentent 1,5 % des émissions françaises. S'agissant des particules, le transport maritime émet 0,3 % pour les PM<sub>10</sub> et 0,2 % pour les PM<sub>2,5</sub> des émissions au niveau français ;
- Pour le fluvial (domestique et international) et la plaisance, regroupés dans une même catégorie dans le rapport Secten 2019, trois polluants apparaissent les NOx (1,3 % du total, + 36 % depuis 1990), les COVNM<sup>193</sup> (1,5 %, - 32 % depuis 1990) et le CO (3,8 %, - 20 % depuis 1990), liés à la combustion des carburants ainsi qu'à la poursuite de l'utilisation de motorisations anciennes. À titre de comparaison, sur la même période 1990-2017, les émissions NOx du transport routier ont diminué de 60 %, et celles de CO et COVNM de plus de 90 %, grâce au renouvellement du parc et à l'introduction progressive de pots catalytiques. Dans le même temps, les émissions de nickel ont augmenté de 83 % et représentent désormais 0,06 % des émissions françaises.

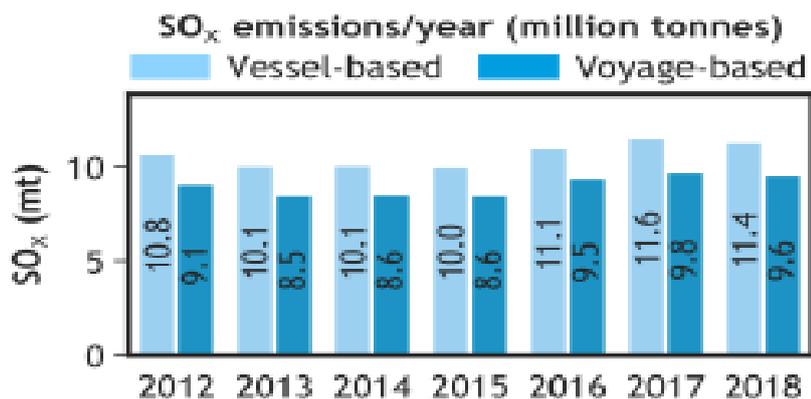
En outre, au-delà de ce tableau, le rapport Secten insiste également sur les émissions de dioxyde de soufre du secteur maritime domestique qui, parmi les différents modes de transport, est celui qui émet le plus de SO<sub>2</sub>. Le transport maritime est le mode de transport le plus émetteur de dioxyde de soufre - (46 % des émissions totales du transport en 2017) mais ne représente que 1 % des émissions nationales. Le rapport Secten précise que l'annexe VI de la Convention Marpol limite à 3,5 % depuis 2012 la teneur en soufre du fioul lourd utilisé pour la propulsion des navires, et désigne des zones de contrôle des émissions de SO<sub>2</sub> à l'intérieur desquelles la teneur en soufre du carburant utilisé pour la propulsion des navires doit être inférieure à 0,1 % (depuis 2015), ou au sein desquelles il y a lieu d'utiliser diverses techniques pour limiter les émissions de SO<sub>2</sub> des navires. Cette limite de 3,5 % a de plus été abaissée à 0,5 % dans toutes les autres zones de contrôle des émissions depuis le premier janvier 2020. Cette annexe est entrée en vigueur en 1998 au niveau international un an après sa ratification par au moins 15 États dont les flottes marchandes représentent au moins 50 % du tonnage brut de la flotte mondiale des navires de commerce.

Le quatrième rapport de l'OMI sur les émissions de gaz à effet de serre du secteur maritime montre également que les émissions mondiales de SOx et de particules du secteur maritime ont augmenté de 2012 à 2018, malgré la réduction de l'utilisation des fiouls lourds et la mise en place à partir de 2015 de zones d'émissions contrôlées (avec des seuils d'émissions de soufre à ne pas dépasser) conduisant à l'utilisation de GNL ou de gazole marin. L'accroissement de la teneur en soufre contenu dans les fiouls lourds (HFO) a en effet dépassé les effets de réduction liés à l'utilisation accrue sur la période du GNL ou du gazole marin.

Table 46 - Global average fuel sulfur content in percentage per year

Fuel type	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
HFO	2.51	2.43	2.46	2.45	2.58	2.60	2.60
MDO	0.14	0.13	0.12	0.08	0.08	0.08	0.07

<sup>193</sup> COVNM Composés organiques volatils non méthaniques



Source: Fourth IMO GHG Study - July 2020

### 3.4.2.2 Les émissions liées aux zones maritimes

Ainsi que le souligne l'étude de faisabilité technique de la mise en œuvre d'une zone de contrôle des émissions des navires (ECA-Emission control area) en Méditerranée, le transport maritime international constitue une source importante d'émission de polluants atmosphériques qui entraîne des impacts significatifs sur la qualité de l'air dans les villes portuaires en termes de NO<sub>x</sub>, de SO<sub>2</sub>, de COV et de particules fines. Du fait du transport à grande distance et de la chimie complexe des phénomènes de pollution atmosphérique, les émissions provenant du transport maritime peuvent également dégrader la qualité de l'air à l'intérieur des terres. En 2007, une étude épidémiologique<sup>194</sup> publiée par (Corbett et al.) indiquait qu'environ 60 000 décès prématurés, survenant chaque année près des côtes d'Europe, d'Asie de l'Est et d'Asie du Sud, pourraient être imputés aux émissions des navires et au transport maritime.

Cette étude montre les gains importants qui résulteraient de la mise en œuvre d'une zone ECA en Méditerranée par rapport à une référence 2015-2016. Elle permet en particulier d'illustrer les réductions d'émissions dans différents cas de figure :

a) l'abaissement de la teneur en soufre du fuel-oil utilisé à bord des navires à 0,5 % mis en œuvre en 2020 ou « Cap 2020 » ;

- - 80 % pour les oxydes de soufre ;
- - 72 % pour les particules ;
- - 30 % pour le carbone suie ;
- - 5 % pour les oxydes d'azote.

b) la mise en œuvre d'une zone de contrôle des émissions de soufre, SECA, correspondant à une réduction de la teneur en soufre dans les carburants utilisés de 0,5 % à 0,1 % :

- - 95 % pour les oxydes de soufre ;
- - 80 % pour les particules ;
- - 51 % pour le carbone suie ;

<sup>194</sup> *Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment*, James J. Corbett, James J. Winebrake, Erin H. Green, Prasad Kasibhatla, Veronika Eyring and Axel Lauer - Environ. Sci. Technol. 2007, 41, 24, 8512-8518 Publication Date: November 5, 2007- <https://doi.org/10.1021/es071686z>

- - 5 % pour les oxydes d'azote

c) la mise en œuvre d'une zone de contrôle des émissions d'oxyde d'azote, dite NECA, en équipant une certaine quantité (50 % ou 100 %) de moteurs avec la technologie SCR ou d'autres techniques (pour se conformer aux technologies de nettoyage TIER III<sup>195</sup>) :

- - 38 % pour les oxydes d'azote lorsque 50% des navires seront de niveau III ;
- - 77 % pour les oxydes d'azote lorsque 100% des navires seront de niveau II.

La mise en place d'une telle zone en Méditerranée devrait permettre d'abaisser les concentrations d'oxydes d'azote de plusieurs microgrammes par m<sup>3</sup> dans les villes portuaires françaises.

### 3.5 Les améliorations possibles de l'état des lieux des émissions des gaz à effet de serre et des polluants atmosphériques des secteurs aérien et maritime

Au terme de ce chapitre, plusieurs modifications évoquées dans les paragraphes précédents pourraient être apportées pour améliorer l'état des lieux des émissions de gaz à effet de serre et des polluants atmosphériques des secteurs aériens et maritimes :

#### 3.5.1 Dans le domaine aérien

- même si l'estimation des effets sur le climat des émissions autres que le CO<sub>2</sub> de l'aérien, en particulier de la vapeur d'eau, montre que leur forçage radiatif effectif est très vraisemblablement supérieur à celui du CO<sub>2</sub> du secteur de l'aviation, elle présente encore de nombreuses incertitudes. La connaissance de ces effets mériterait d'être approfondie et de donner lieu à des travaux de modélisation dont les résultats pourraient être discutés au sein de la communauté scientifique, notamment par rapport à ceux obtenus par le DLR. De tels travaux permettraient ensuite de modéliser les effets d'avions à hydrogène et de préciser les incertitudes liées à la notion de forçage radiatif effectif des traînées de condensation et des cirrus induits ;
- les conséquences sur le réchauffement climatique, sur la destruction de la couche d'ozone, et plus généralement sur l'environnement, d'un très grand nombre de vols dans la stratosphère mériteraient d'être étudiées ;
- les différentes plateformes aéroportuaires pourraient publier chaque année de manière transparente leurs émissions et les indicateurs, notamment ceux correspondant à l'article 45 de la LTECV. Cette publication pourrait décomposer les émissions et les polluants suivant les différents types de source et effectuer un bilan des réductions obtenues par rapport aux objectifs fixés. Une telle publication accompagnerait avantageusement la démarche de réduction volontaire de leurs émissions de CO<sub>2</sub>, le programme *Airport Carbon Accreditation* dans laquelle les aéroports se sont engagés.

#### 3.5.1 Dans le domaine maritime

- l'actualisation de la ventilation des émissions du maritime entre le domestique et l'international,

---

<sup>195</sup> En vertu de cette règle, l'exploitation des navires équipés de moteurs d'une puissance de sortie supérieure à 130 kW de leur moteur est interdite lorsque la quantité d'oxydes d'azote émise dépasse les limites suivantes (n représente le régime nominal du moteur en tour vilebrequin par minute) : i) 3,4 g/kWh lorsque n est inférieur à 130 tr/min, ii)  $9 \times n - 0,2$  g/kWh lorsque n est égal ou supérieur à 130 tr/min mais inférieur à 2 000 tr/min, iii) 2,0 g/kWh lorsque n est égal ou supérieur à 2 000 tr/min.

demandée également par la CCNUCC<sup>196</sup>, nécessite de reprendre une étude déjà ancienne, datant de 2000 : le recours aux données de l'AIS devrait le permettre ;

- l'absence de distinction des navires en zone SECA devrait donner lieu à un travail spécifique, à partir notamment des données AIS qui devraient permettre de localiser les émissions ;
- dans le domaine de la plaisance, les émissions présentent un fort degré d'incertitude qui nécessite des travaux d'approfondissement et de recoupement ;
- dans le domaine de la pêche, le travail de reconstitution des émissions dans une démarche *bottom-up* déjà entrepris est à finaliser et à comparer avec les réflexions de la profession.

---

<sup>196</sup> CCNUCC : Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique. Organe à qui la France rapporte ces émissions des GES et qui fait annuellement la revue des inventaires GES

## 4 Le défi des secteurs aérien et maritime confrontés à une augmentation régulière de leurs trafics et à la neutralité carbone

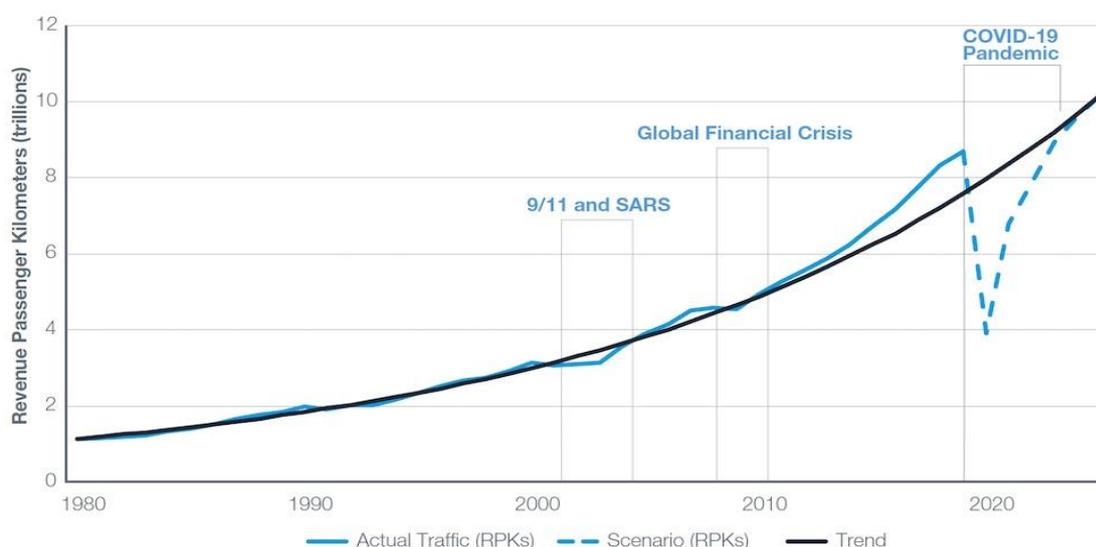
Cette annexe est divisée en trois parties : la première présente les évolutions envisagées par la Commission environnement de l'OACI pour les émissions de gaz à effet de serre du secteur aérien mondial à 2050. La seconde présente les évolutions du secteur maritime mondial d'après les deux derniers rapports de l'OMI de 2014 et de 2020 sur les émissions de gaz à effet de serre du secteur maritime. La dernière partie traite enfin des évolutions des trafics aérien et maritime français et de leurs émissions sous l'angle de la Stratégie nationale bas carbone adoptée au début de l'année 2020.

Les projections présentées dans ce chapitre sont antérieures à la crise de la COVID-19 : ainsi que le souligne l'encadré ci-dessous, ces projections risquent cependant d'être décalées du temps nécessaire à ce que les voyageurs retrouvent la confiance dans leurs déplacements et le transport aérien. Dans cette hypothèse, la problématique globale de la décarbonation des secteurs aérien et maritime reste la même et les efforts de décarbonation envisagés restent valables et nécessaires. À court terme, les possibilités financières des différents acteurs peuvent être cependant considérablement amoindries ce qui peut retarder la transition nécessaire.

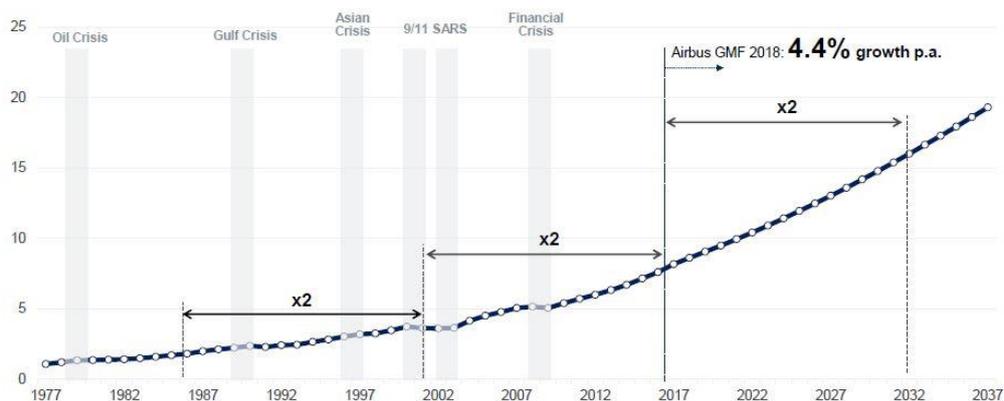
### Les effets du coronavirus sur les trafics aériens et maritimes à long terme

Ce chapitre envisage les évolutions des trafics aériens et maritimes prévues avant la crise de la COVID-19 : il est en effet très difficile de prévoir aujourd'hui les conséquences à long terme de la crise sanitaire actuelle dans l'économie ou dans les secteurs aéronautiques et maritimes.

Dans le secteur aéronautique, Boeing, lors de la présentation en octobre 2020 de ses perspectives de trafic à moyen long terme, envisageait une hausse de 4 % par an du trafic de passagers sur les vingt prochaines années et prévoyait une reprise forte du trafic aérien à l'issue de la crise sanitaire actuelle comme le montre la courbe ci-dessous :



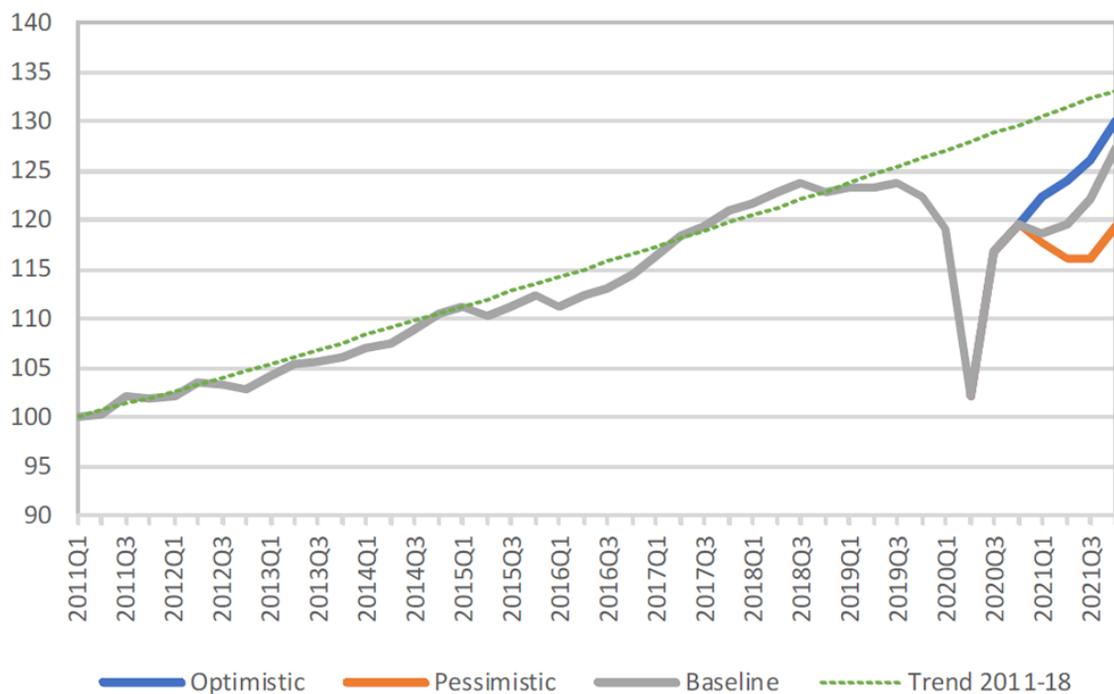
Avant la COVID-19, Airbus soulignait que le trafic aérien avait su jusqu'à présent montrer sa résilience aux crises avec un doublement du trafic de passagers tous les quinze ans. La courbe ci-dessous montre en effet que le SARS ou la crise économique de 2008 n'ont eu qu'un effet très faible sur la progression du trafic aérien :



Source graphique : Airbus. Evolution du trafic aérien mesurée en milliards de PKT

Dans le maritime, les prévisions de l’OMC, présentées début octobre 2020, envisageaient plusieurs scénarios possibles conformément à la figure ci-dessous : une très forte incertitude prévaut à ce stade sur la reprise du commerce mondial dans les prochains mois, en raison notamment de l’ampleur possible d’une deuxième vague. Néanmoins, dans les trois courbes, même dans la plus pessimiste, l’OMI envisage un redémarrage de la croissance à un rythme comparable à celui des années antérieures.

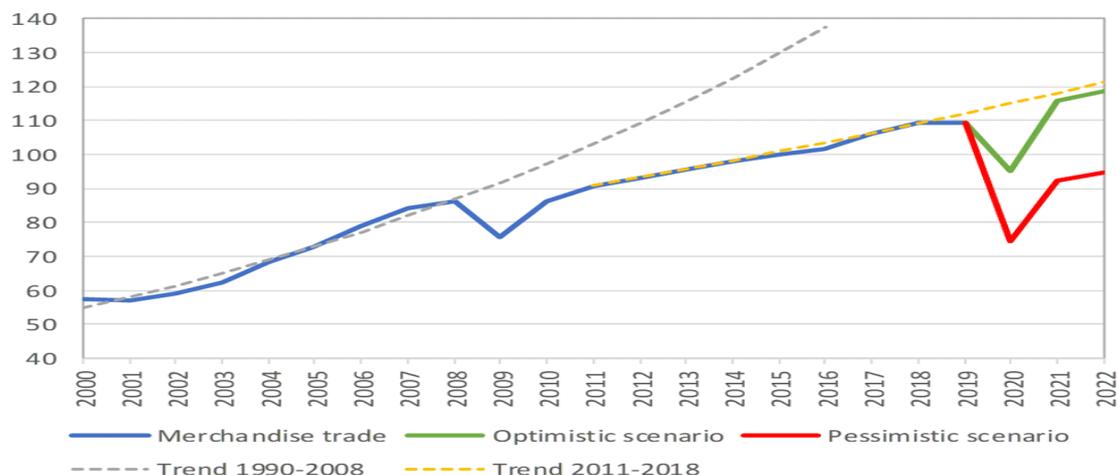
#### Scénarios optimistes et pessimiste du commerce mondial (Index, 2011 Q1=100)



Source : WTO Secretariat estimates.

Il convient cependant de souligner, qu’à la différence du trafic aérien, le commerce mondial n’a pas retrouvé le rythme de croissance d’avant la crise de 2008 comme le montre la courbe ci-dessous issue

de l'OMC et reprise dans le quatrième rapport de l'OMI : la Fondation Robert Schuman<sup>197</sup> met en avant un certain nombre de facteurs structurels qui pourraient expliquer cette inflexion et qui seraient liés au rééquilibrage de l'économie chinoise se tournant de plus en plus vers son marché intérieur et ralentissant ainsi ses exportations, ainsi qu'à l'épuisement de la dynamique de décomposition des chaînes internationales de production de valeur (*global value chains*).



Au final, il est donc possible que les projections présentées dans le reste de ce chapitre ne soient décalées que de quelques années, en raison de la croissance plus faible du commerce mondial et du temps nécessaire à ce que les voyageurs retrouvent la confiance dans leurs déplacements, non seulement dans le transport aérien mais aussi, à titre plus marginal, dans la croisière. Ce retard ne change cependant pas la problématique générale de la décarbonation de ces secteurs. A court terme, les plans de relance peuvent contribuer à la décarbonation de ces secteurs qui pourrait être retardé par les difficultés économiques auxquelles sont confrontés les acteurs.

Ces différents exercices montrent toute la difficulté de se rapprocher de la neutralité carbone dans les secteurs de l'aérien et du maritime :

- l'exercice 2019 de la commission environnement de l'OACI souligne que l'utilisation des trois leviers principaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour l'aérien, à savoir le renouvellement de la flotte actuelle (gain d'environ 25 %), l'amélioration régulière de la technologie (d'environ 0,98 % par an de 2015 à 2050), l'amélioration de la gestion du trafic aérien et l'utilisation des infrastructures aéroportuaires conduisent, dans le meilleur des cas, à un doublement des émissions de CO<sub>2</sub> de 2015 à 2050. Dans un calcul en ACV, cette commission montre que l'utilisation de 100 % de biocarburants durables permettrait seulement de maintenir les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur aérien à leur niveau actuel, mais pas de les réduire : ce résultat dépend néanmoins fortement du type de biocarburants utilisés.

En complément, les courbes de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> de l'aérien mondial produites par l'IATA en fonction des évolutions technologiques possibles apporte un éclairage économique : elles montrent qu'un certain nombre d'actions de décarbonation sont rentables pour un gisement limité, mais qu'au-delà le coût de la décarbonation serait aujourd'hui particulièrement élevé ;

- le rapport plus ancien de l'OMI de 2014 sur les émissions de gaz à effet de serre du secteur maritime, en s'appuyant sur une hypothèse d'amélioration de 40 % de l'efficacité énergétique des navire d'ici à 2050, aboutit à une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> du secteur de 50 % à 250 %

<sup>197</sup> <https://www.robert-schuman.eu/fr/questions-d-europe/0421-le-ralentissement-du-commerce-mondial-une-rupture-structurelle-porteuse-d-incertitudes>

selon les scénarios d'ici 2050. Une amélioration de l'efficacité énergétique allant jusqu'à 60 %, combinée à une augmentation des zones ECA, permettrait de réduire de 30 % supplémentaires les émissions. Mais, dans presque tous les scénarios étudiés, les émissions de GES augmentent en 2050 par rapport à aujourd'hui. Dans ce rapport de 2014, qui est donc antérieur à l'Accord de Paris et aux engagements de long terme qu'elle a adoptés en 2017, l'OMI envisage l'utilisation de carburants désulfurés, notamment de gaz naturel, mais n'intègre pas encore des motorisations ou des carburants décarbonés. Le quatrième rapport de l'OMI apporte un éclairage économique complémentaire : il réalise en effet une évaluation des différentes technologies possibles de décarbonation et estime ainsi la valeur nécessaire de la tonne de CO<sub>2</sub> évité pour atteindre les objectifs de réduction d'émissions d'au moins 40% d'ici 2030 et de division par deux des émissions annuelles en 2050 par rapport à 2008. Au-delà des valeurs trouvées, 257 \$/tCO<sub>2</sub> en 2030 et 417 \$/tCO<sub>2</sub> en 2050, qui dépendent des hypothèses retenues, il met ainsi en avant l'intérêt d'un signal-prix carbone dont la trajectoire est connue suffisamment longtemps à l'avance pour que les décisions d'investissement puissent être optimisées ;

- enfin, la SNBC montre que dans le cas de la France l'atteinte de la neutralité carbone nécessite d'annuler quasiment entièrement les émissions du secteur énergétique (et donc du secteur des transports). Elle l'envisage dans les secteurs du maritime ou du fluvial domestiques, et s'en rapproche dans le maritime international en utilisant 50 % de biogaz et dans l'aérien international en recourant à 50 % de biocarburants durables. La SNBC ne donne cependant pas les résultats d'un exercice en ACV dans ces secteurs, qui comprendrait les émissions associées à la production de biocarburants ou de biogaz.

Comme le montre le quatrième rapport de l'OMI, la neutralité carbone nécessite donc de recourir à des motorisations et à des carburants propres. Dans les trois cas, ces analyses ne prennent pas en compte les effets indirects des émissions associés tels que les émissions de NO<sub>x</sub> ou de noir de carbone, ou ceux liés à la vapeur d'eau. Sauf exception, nous ne raisonnerons donc dans la suite de ce chapitre que sur les seules émissions de CO<sub>2</sub>.

## 4.1 Les évolutions des émissions du secteur aérien mondial à 2050

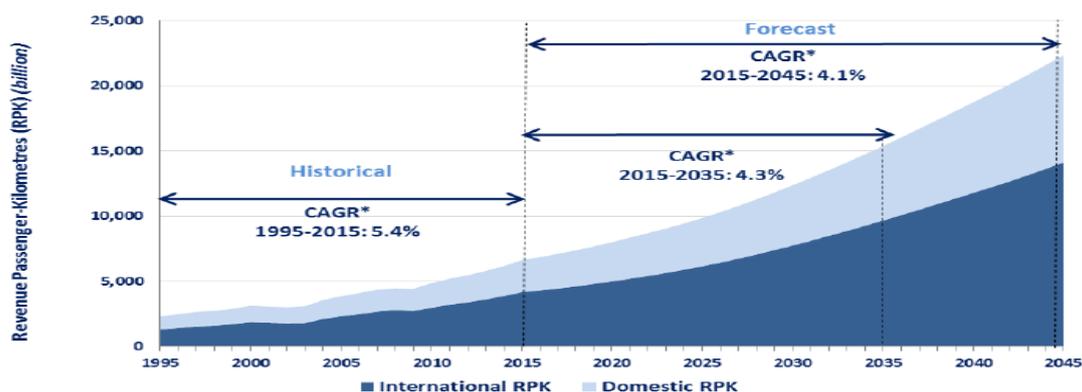
Une première approche de l'évolution possible des émissions de gaz à effet de serre du secteur de l'aérien peut s'appuyer sur les travaux de prospective de l'IATA ainsi que sur les rapports triennaux de la commission de l'environnement de l'OACI dont le dernier a été publié en 2019<sup>198</sup>.

### 4.1.1 Un trafic mondial en forte hausse dans une perspective de long terme

Si sur vingt-cinq ans, de 1990 à 2015, le trafic aérien (exprimé en tonnes-kilomètres payantes) a augmenté de 5,4 % par an et a donc été multiplié par 3,7, les courbes ci-dessous publiées par l'OACI en 2018 indiquaient que le trafic aérien mondial pourrait encore augmenter d'environ 4,1 % par an jusqu'en 2050, ce qui représente une multiplication du trafic par un facteur voisin de 3,3 sur trente ans ;

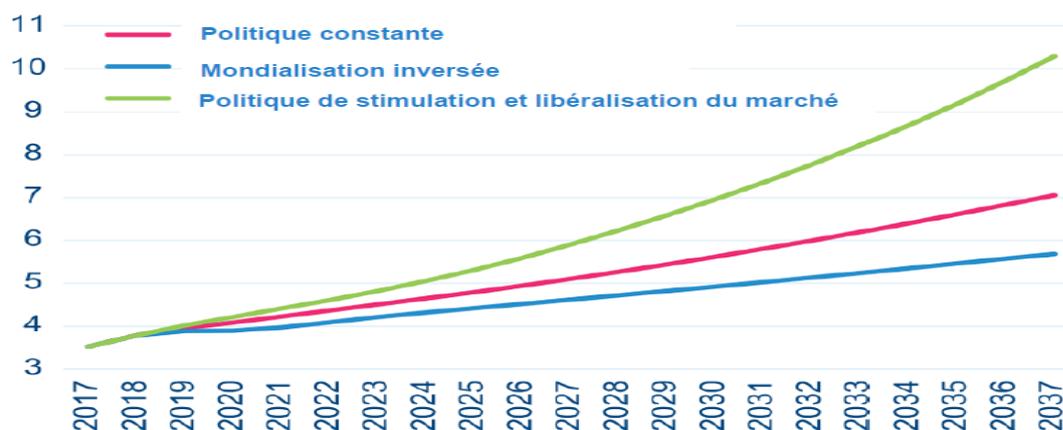
---

<sup>198</sup> *Destination Green : the next chapter* : 2019 Environmental Report, ICAO,  
<https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/envrep2019.aspx>



Ces prévisions dépendent néanmoins fortement de la gouvernance mondiale. Dans les prévisions qu'elle a publiées en 2018<sup>199</sup>, l'IATA (en prenant une progression annuelle légèrement plus faible que la précédente, + 3,5 % par an au lieu de 4,1 %, indiquait que le trafic aérien mondial, en nombre de passagers, pourrait doubler de 2017 à 2037 pour atteindre, à cette date, un chiffre de près de 8,2 milliards de passagers par an et soulignait également que plus de la moitié du nombre total de nouveaux passagers au cours des 20 prochaines années proviendrait de la région Asie Pacifique. Mais, l'IATA envisageait également deux autres scénarios montrant ainsi l'incertitude de telles prévisions : tandis qu'une démondialisation, marquée par un renforcement du protectionnisme, conduirait à une moindre évolution du nombre de passagers (5,3 milliards de passagers par an), une libéralisation plus importante entraînerait une augmentation nettement plus sensible du trafic aérien (10,3 milliards de passagers par an).

#### Passagers (milliards, base O-D)



Sources IATA/TE

#### 4.1.2 Une augmentation de la consommation de carburant qui va dépendre fortement du progrès technique

Les travaux menés par le comité environnemental de l'OACI, à l'occasion de son 35ème anniversaire, et publiés dans le rapport environnemental 2019 de l'OACI<sup>200</sup> permettent de préciser les évolutions de consommation de carburants jusqu'en 2050. Elles s'appuient sur :

<sup>199</sup> <https://www.iata.org/contentassets/db9e20ee48174906aba13acb6ed35e19/2018-10-24-02-fr.pdf>

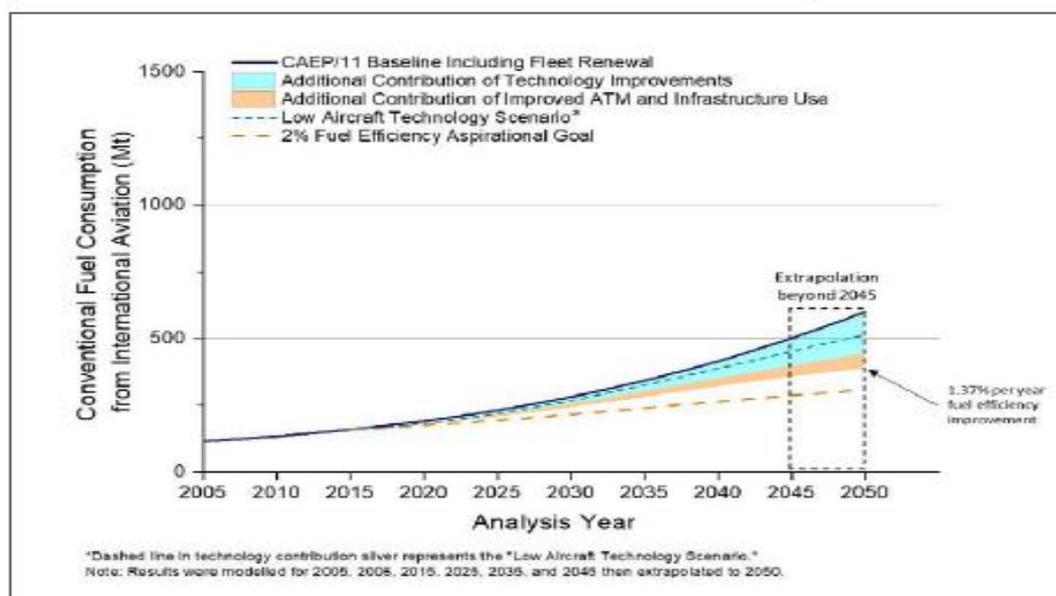
<sup>200</sup> <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/envrep2019.aspx>

- une courbe tendancielle d'augmentation des passagers kilomètres transportés (PKT payants) de 4,1 % par an légèrement inférieure aux prévisions de Boeing de 4,8 % par an ;
- une poursuite de l'amélioration de l'efficacité énergétique des avions de 0,98 % par an ;
- une amélioration de la gestion du ciel aérien permettant de réduire les consommations de 0,39 % par an en moyenne.

Au total, la commission environnement de l'OACI retient donc une amélioration de l'efficacité énergétique globale de 1,37 % par an, nettement inférieure à l'objectif de 2 % d'amélioration par an retenue par l'OACI. Ceci rejoint d'ailleurs le commentaire de l'AIE dans l'ETP 2017 qui constate que les standards d'émissions, adoptés par l'OACI en 2017, qui devront s'appliquer aux nouveaux appareils mis en service en 2028 (par rapport à 2015), ne représentent une baisse que d'environ 4 % (entre zéro et 11 % suivant la masse au décollage), alors que l'objectif d'efficacité énergétique de 2 % par an retenu par l'OACI devrait conduire à une baisse de consommation d'environ 30 %.

Dans ces conditions, à 2050, la consommation énergétique de kérosène, qui était de 160 Mt en 2015, devrait être multipliée par 3,8 (ligne bleue foncée dans le graphique ci-dessous) dans un scénario tendanciel incluant cependant le renouvellement de la flotte et de 2,4 dans le scénario d'amélioration de l'efficacité énergétique retenue par la commission environnement<sup>201</sup>.

**FIGURE 1: Fuel Burn from International Aviation, 2005 to 2050**



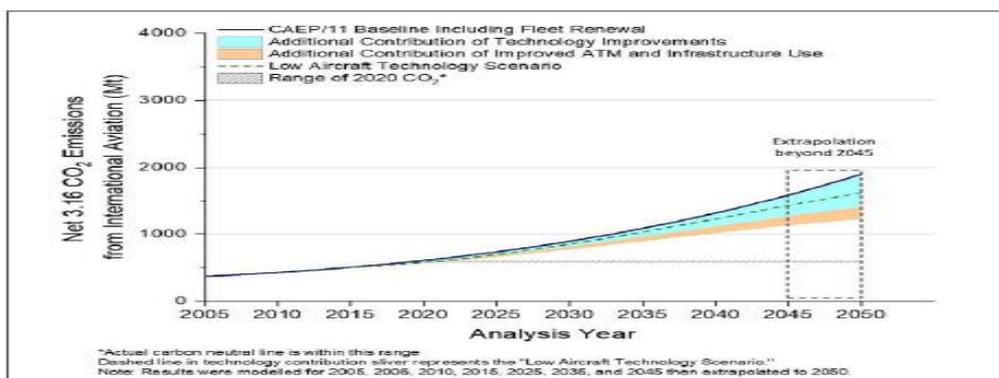
### 4.1.3 Des émissions de gaz à effet de serre en nette progression

Toujours dans les mêmes hypothèses et en ne retenant que les émissions internationales (qui correspondraient selon l'OACI à 65 % des émissions mondiales en 2015 comme en 2050), le cumul des différents leviers que sont le renouvellement de la flotte actuelle (gain d'environ 25 %), l'amélioration régulière de la technologie (d'environ 0,98 % par an de 2015 à 2050), l'amélioration de la gestion du trafic aérien et la réduction des émissions au sol fait apparaître une croissance minimale (dans le meilleur des cas) de 612 Mt de CO<sub>2</sub> par rapport au niveau des émissions envisagées à 2020. Ce niveau, qui ne tient naturellement pas compte de la crise du coronavirus, ne doit pas être dépassé si le secteur aérien veut respecter son objectif actuel de croissance neutre en carbone à partir de 2020. Ainsi, dans

<sup>201</sup> À 2045, la consommation serait multipliée respectivement par 3,1 et 2,2.

le cas le plus optimiste, les émissions de gaz à effet de serre du secteur aérien mondial à 2050 seraient plus de deux fois supérieures à celles de 2015 (qui étaient de 520 Mt de CO<sub>2</sub>).

**FIGURE 3: CO<sub>2</sub> Emissions from International Aviation, 2005 to 2050**

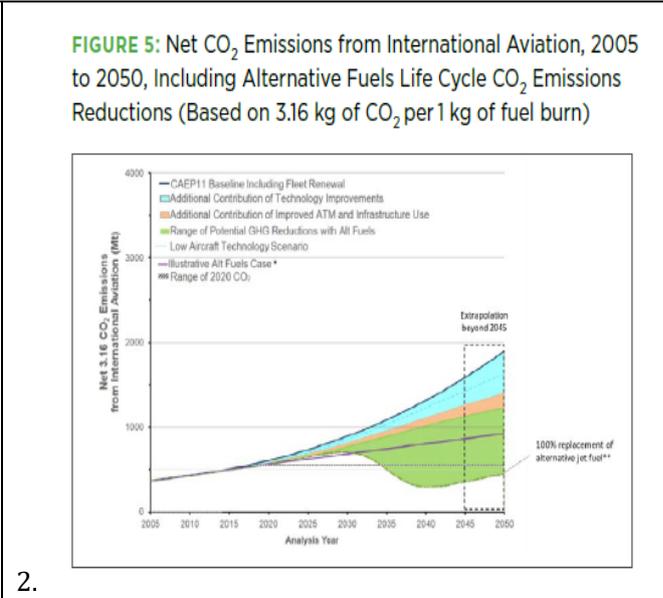
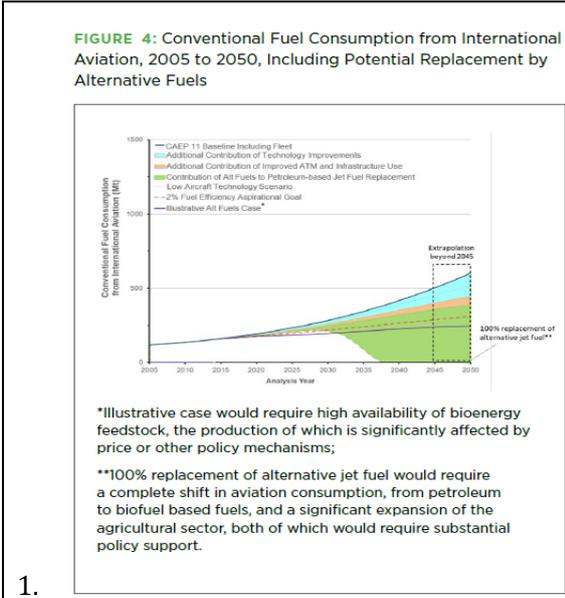


Ainsi que le souligne le rapport de la commission, cette courbe, ainsi que les deux figures ci-dessous, illustrent ce qui est attendu à l'échelle mondiale des biocarburants :

- un scénario optimiste de développement de 100 % de biocarburants durables pourrait permettre d'atteindre des émissions directes proches de zéro de la part de l'aérien entre 2035 et 2040 ;
- un tel scénario suppose cependant des investissements considérables correspondant à la construction chaque année de 170 nouvelles raffineries de biocarburants dans le monde pour un investissement annuel de 15 à 60 milliards de dollars ;
- un raisonnement en ACV montre cependant que le gain ainsi envisagé par la Commission environnement ne serait que de 63 % des émissions d'un kérosène normal<sup>202</sup>.

Au total, dans un scénario biocarburant, les émissions en ACV du secteur aérien seraient donc sensiblement voisines sinon légèrement supérieures à celles de l'aérien aujourd'hui. De plus, l'utilisation de biocarburants ne permettrait pas de réduire (sans autre modification) les effets indirects de ces émissions sur le climat provenant des émissions de NOx et de vapeur d'eau. Il convient cependant de souligner que ces résultats dépendent très fortement de la nature des biocarburants utilisés dont les émissions, dans un cycle ACV, peuvent être très nettement inférieures à celles du kérosène, mais peuvent leur être également supérieures, ainsi que l'ont montré les évaluations des émissions de certains biocarburants de première génération, lorsqu'on prend en compte le changement d'affectation des terres.

<sup>202</sup> « This analysis also considered the longterm availability of sustainable alternative fuels, finding that it would be physically possible to meet 100% of demand by 2050 with SAF, corresponding to a 63% reduction in emissions ». <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/envrep2019.aspx>

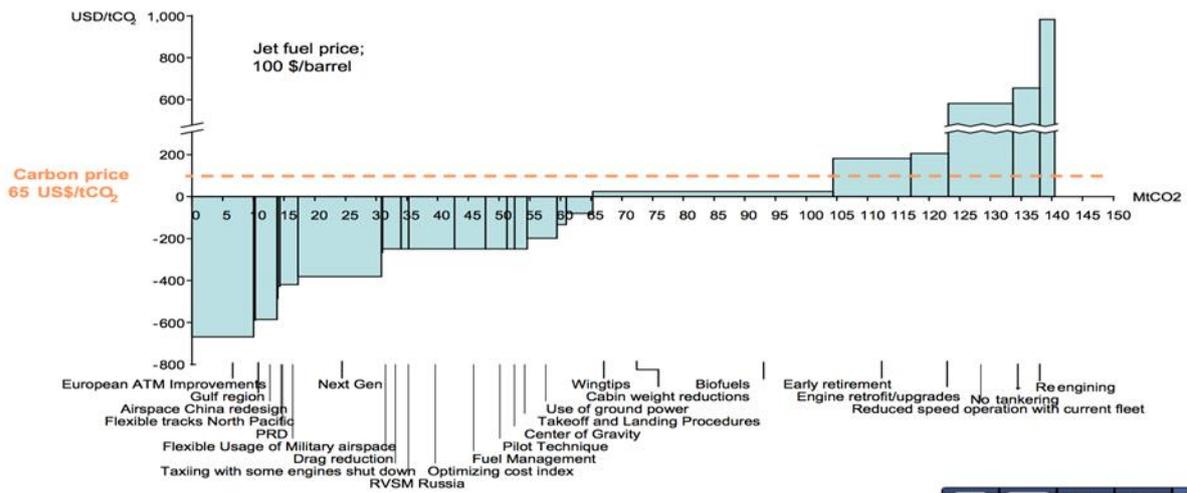


Source: *Environmental Trends in Aviation to 2050*, Gregg G. Fleming (US DOT Volpe) and Ivan de Lépina (EASA), <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/envrep2019.aspx>

#### 4.1.4 L'éclairage économique du coût de la tonne de carbone évitée

Les courbes des coûts de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée en fonction des innovations technologiques montrent que certaines de ces évolutions (qui correspondent à un coût négatif de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée) seraient rentables : ainsi en est-il notamment de l'amélioration de la gestion de l'espace aérien (dont la mise en œuvre, pour respecter toutes les procédures de sécurité nécessaires, demande du temps) ou des économies d'énergie à la conception. Elles devraient donc être prioritaires. À l'inverse, des actions telles qu'un déclassement prématuré des avions les plus anciens ou le remplacement des moteurs sont particulièrement coûteuses.

#### Coût de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée en fonction de la réduction de CO<sub>2</sub> pour l'aérien mondial en 2020



Source : IATA, <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/PaulSteele.pdf>

Il convient cependant de prendre une telle courbe avec prudence dans la mesure où il est difficile, par exemple, d'estimer le coût réel de la mise en œuvre d'une amélioration de la gestion du ciel européen ou de pouvoir disposer en Europe de biocarburants à un coût comparable à celui du kérosène.

## 4.2 Les évolutions attendues des émissions du secteur maritime à 2050

En 2014, un an avant l'Accord de Paris, l'OMI a publié sa troisième édition des émissions de gaz à effet de serre du maritime. Même si cette référence remonte à plus de cinq ans, ses résultats, décrits dans les paragraphes suivants, permettent d'identifier un certain nombre de caractéristiques du secteur. Le rapport 2014, antérieur à l'Accord de Paris et aux engagements de réduction adoptés par l'OMI en 2018, prévoit, d'ici à 2050, une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> du transport maritime international dans les scénarios tendanciels de 50 à 250 % et seul un scénario combinant toutes les mesures possibles permet de ne pas augmenter les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050. Il met en lumière l'importance qu'il convient d'accorder aux actions d'efficacité énergétique qui constituent le levier d'action le plus efficace dans une période de transition pour réduire les émissions. Pour aller plus loin et envisager la neutralité carbone, il faudra recourir à des carburants neutres en carbone

En avril 2018, l'OMI s'est engagée à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> par activité de transport d'au moins 40 % d'ici 2030, en poursuivant les efforts en vue d'atteindre 70 % d'ici 2050, par rapport à 2008, et de diminuer le volume total des émissions de GES annuelles du secteur d'au moins 50 % d'ici 2050 par rapport à 2008. Son quatrième rapport souligne, dès lors, l'importance des carburants et/ou à des motorisations propres indispensables pour se rapprocher de la neutralité carbone.

### 4.2.1 Un trafic attendu en hausse plus ou moins forte suivant le type de navire considéré

La reconstitution des émissions du maritime à partir des consommations énergétiques des différents navires permet de mettre en évidence, comme le montre la figure ci-dessous, l'importance de trois segments dans les émissions de gaz à effet de serre du maritime international : les porte-conteneurs, les vraquiers et les pétroliers.

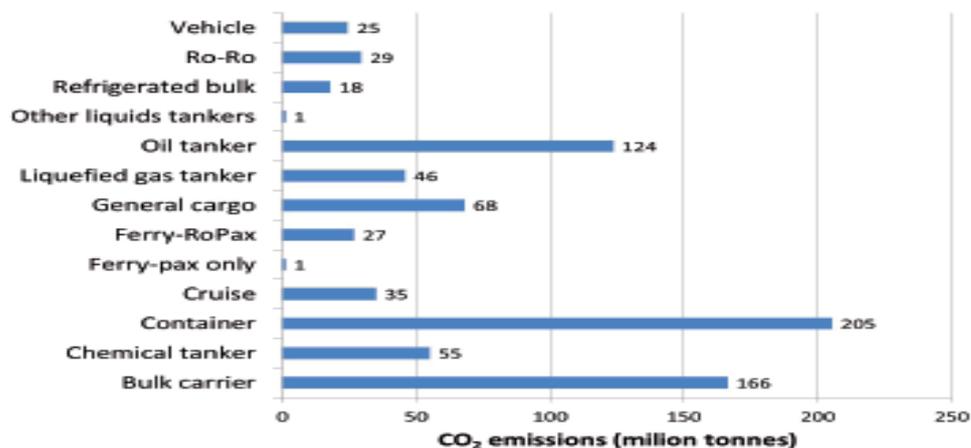


Figure 1: Bottom-up CO<sub>2</sub> emissions from international shipping by ship type 2012

Pour apprécier l'évolution des émissions de gaz à effet de serre de ce secteur, l'OMI examine l'augmentation des trafics attendus de ces différents types de navire en croisant des données économiques, mais aussi des données climatiques. Les travaux du GIEC ont permis d'identifier quatre scénarios d'évolution climatique associés à des évolutions plus ou moins fortes des émissions de GES d'ici 2050 et de les illustrer par un scénario

économique dit de référence :

Scénario climatique	Description	Scénario économique associé <sup>203</sup>
RCP 2,6	Facteur radiatif supplémentaire culminant dans le courant du siècle à 3 W/m <sup>2</sup> et se réduisant pour atteindre 2,6 W/m <sup>2</sup> à 2100, scénario couramment associé à une augmentation de température de 2°C en fin de siècle (fourchette probable +0,8 à 2,4°C en 2100 par rapport à la période 1850-1900)	SSP4 : monde marqué par de grandes inégalités entre pays et en leur sein. Une minorité y serait responsable de l'essentiel des émissions de GES, tandis que la plus grande partie de la population resterait pauvre et vulnérable au changement climatique.
RCP 4,5	Scénario conduisant à une augmentation croissante du facteur radiatif atteignant 4,5 W/m <sup>2</sup> après 2100, sans dépassement de cette valeur (+1,6 à 3,3°C en 2100, moyenne +2,4°C)	SSP3 : monde fragmenté affecté par la compétition entre pays, une croissance économique lente, des politiques économiques orientées vers la sécurité et la production industrielle et peu soucieuses de l'environnement.
RCP 6,0	Scénario conduisant à une augmentation croissante du facteur radiatif atteignant 6 W/m <sup>2</sup> après 2100, sans dépassement de cette valeur (+1,9 à 3,8°C, moyenne +2,8°C)	SSP1 : monde marqué par une forte coopération internationale, donnant la priorité au développement durable
RCP 8,5	Scénario conduisant à une augmentation du facteur radiatif de 8,5 W/m <sup>2</sup> en 2100 (+3,1 à 5,5°C, moyenne +4,3°C)	SSP5 : monde qui se concentre sur un développement traditionnel et rapide des pays en voie de développement, reposant sur une forte consommation d'énergie.

La figure ci-dessous qui représente les trafics maritimes attendus, exprimés en milliards de tonnes milles nautiques<sup>204</sup> (échelle verticale), des navires de vrac liquides et des navires transportant du charbon montre l'ampleur de l'incertitude liée à leur évolution selon les scénarios. Dans un scénario RCP 2,6 dans lequel les efforts pour réduire la consommation du pétrole et du charbon sont très importants, ces trafics vont diminuer par rapport à 2012 puisque la transition énergétique s'accélère, tandis que dans un scénario RCP 8,5 où ils poursuivent leur croissance tendancielle, les trafics connaissent un quasi-doublement de 2015 à 2050 :

<sup>203</sup> Découvrir les nouveaux scénarios RCP et SSP utilisés par le GIEC, DGEC, septembre 2013

<sup>204</sup> Un mille nautique, ou mille marin, vaut environ 1 852 mètres

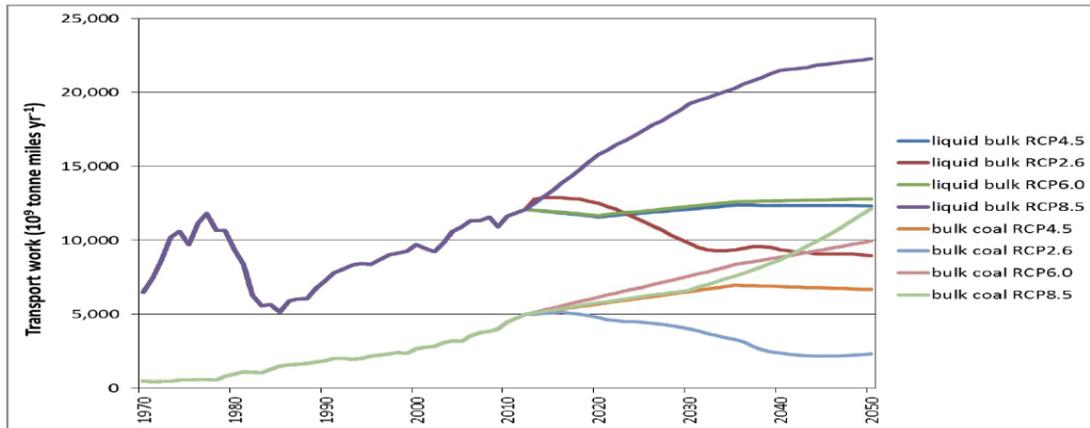


Figure 83: Historical data to 2012 on global transport work for ship-transported coal and liquid fossil fuels (billion tonne-miles) coupled with projections of coal and energy demand driven by RCPs 2.6, 4.5, 6.0 and 8.5 by 2050

L'évolution du trafic, en milliards de tonnes milles nautiques, des navires de vrac secs ne transportant pas de charbon et des porte-conteneurs dépend des données macroéconomiques et des scénarios économiques retenus : il est clair par exemple que les trafics de conteneurs sont fortement corrélés au taux de croissance du PIB. Le facteur multiplicatif serait, dès lors, nettement plus important de l'ordre d'environ 3 à 9 pour les porte-conteneurs et de 2 à 4 pour les navires de vrac secs (ne transportant pas de charbon).

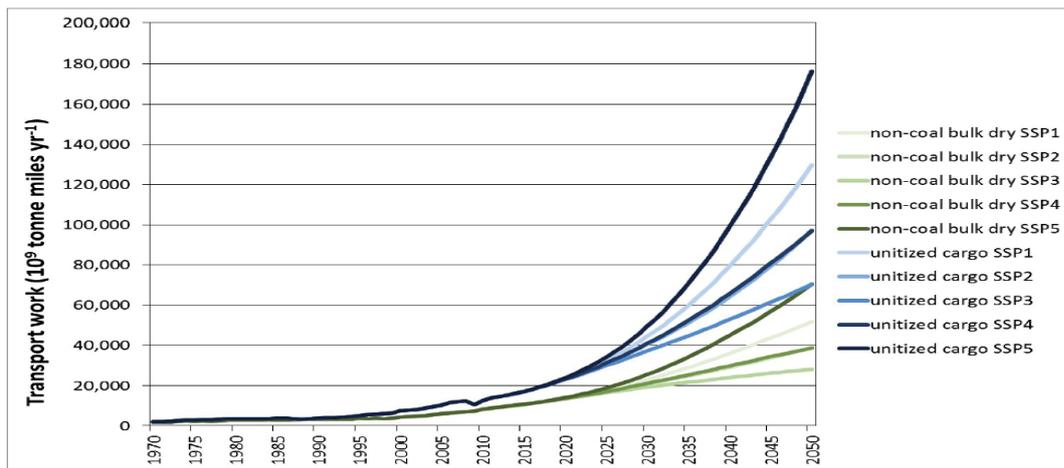
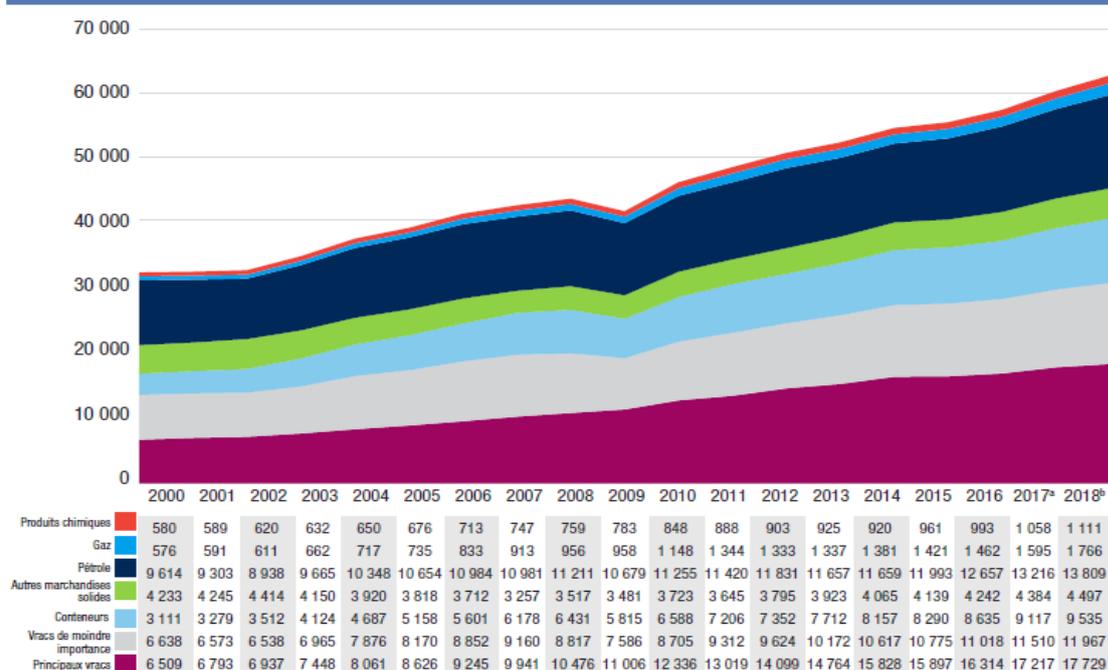


Figure 82: Historical data to 2012 on global transport work for non-coal combined bulk dry cargoes and other dry cargoes (billion tonne-miles) coupled with projections driven by GDPs from SSP1 through to SSP5 by 2050

Pour situer cette projection par rapport aux données fournies à titre historique par la CNUCED que l'OMI a d'ailleurs utilisées jusqu'en 2012 pour son étude de 2014, on peut se référer au graphique suivant fourni par « l'étude sur les transports maritimes 2018 » et qui correspond à la période 2000-2018 :

**Graphique 1.4 Trafic maritime mondial en tonnes-milles de fret, 2000-2018**  
(En milliards de tonnes-milles)



Source : Calculs du secrétariat de la CNUCED, d'après des données de Clarksons Research, 2018a.

<sup>a</sup> Estimation.

<sup>b</sup> Projection.

## 4.2.2 Une réduction possible de la consommation énergétique

Trois facteurs doivent être pris en compte pour estimer les consommations énergétiques :

- l'amélioration de la productivité des navires, définie comme le rapport entre le poids des marchandises transportées et le poids mort du navire ; l'OMI estime le gain apporté par cette amélioration entre 0 et 25 % d'ici 2050 suivant le segment de navires considéré. Ce facteur dépend naturellement de l'ajustement de la capacité de la flotte mondiale au volume de marchandises à transporter ;

*Table 71 – Ship type productivity indices used in emissions projection model*

	2012	2017	2022-2050
Liquid bulk vessels	100	113	125
Dry bulk vessels	100	102	104
Container ships	100	109	118
General cargo vessels	100	109	118
Liquefied gas carriers	100	106	113
All other vessels	100	100	100

- l'évolution de la taille des navires avec un développement des porte-conteneurs géants et une augmentation de la taille des méthaniers d'ici 2050 comme le montre le tableau ci-dessous. L'OMI souligne ainsi que son étude de 2009 ne considérait qu'une seule catégorie de navires pour les porte-conteneurs de plus 8 000 TEU (équivalent vingt-pieds), mais que la construction de porte-conteneurs de plus en plus grands l'a conduit à retenir deux autres seuils. La catégorie des plus de 14 500 TEU représenterait ainsi 5 % de la flotte mondiale des porte-conteneurs à l'horizon 2050 contre 0,2 % en 2012 ;

Table 72 – 2012 distribution and expected distribution 2050 of container and LG carriers over bin sizes

Ship type	Bin sizes (dwt)	Distribution in terms of numbers	
		2012	2050
Container vessels	0–999	22%	22%
	1,000–1,999 TEU	25%	20%
	2,000–2,999 TEU	14%	18%
	3,000–4,999 TEU	19%	5%
	5,000–7,999 TEU	11%	11%
	8,000–11,999 TEU	7%	10%
	12,000–14,500 TEU	2%	9%
	14,500–+ TEU	0.2%	5%
Liquefied gas carriers	0–49,000 m <sup>3</sup>	68%	32%
	50,000–199,999 m <sup>3</sup>	29%	66%
	>200,000 m <sup>3</sup>	3%	2%

- l'amélioration enfin de l'efficacité énergétique des navires, soit dans leur design (avec un renforcement progressif des mesures réglementaires), soit dans leur exploitation, en particulier dans la réduction de leur vitesse. Le rapport de l'OMI souligne cependant que la réduction de consommation obtenue grâce à la limitation de vitesse des navires ne se traduit pas par un gain aussi important de consommation énergétique de l'ensemble de la flotte : un plus grand nombre de navires et de jours de mer (ou des navires d'une taille plus importante) est en effet nécessaire pour assurer le transport de la même quantité de marchandises. Grâce à ces mesures, l'OMI retient une amélioration de 40 % de l'efficacité des navires d'ici 2050 comme hypothèse de base, et envisage même la possibilité d'une amélioration de 60 %.

Dans ces conditions, l'OMI considère que les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur maritime (et en première approximation la consommation énergétique) **vont augmenter de 50 à 250 % dans les différents scénarios de base** qu'elle prend comme référence, comme le montre la figure ci-dessous :

#### Evolution des émissions de CO<sub>2</sub> du secteur maritime de 2012 à 2050

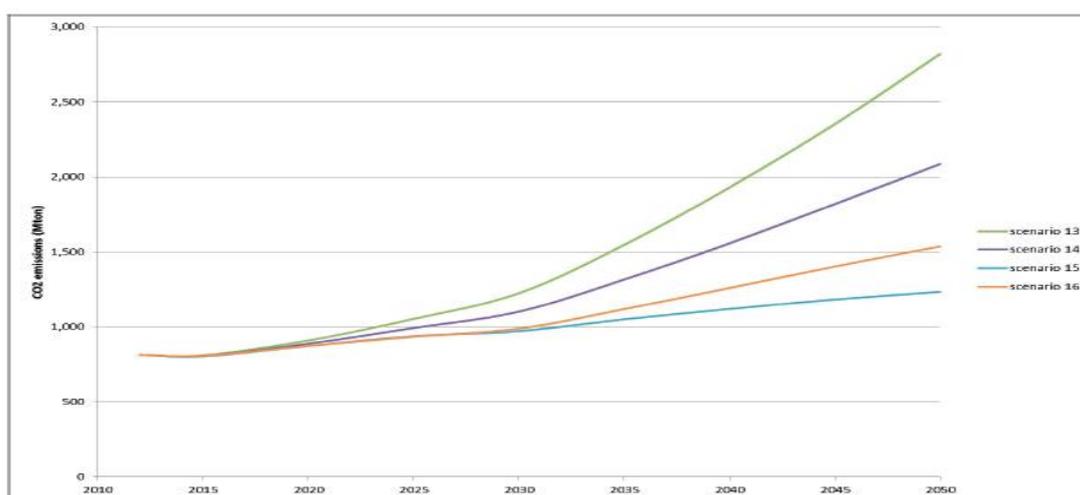


Figure 85: Emissions projections for the BAU transport demand scenarios

Source : Rapport OMI 2014, la courbe supérieure en vert 13 correspond au scénario RCP 8,5 (associé au SSP5), la bleu foncé 14 au RCP 6,0 (associée au SSP 1), l'orange 15 au RCP 4,5 (associé au SSP 3) et la bleu clair au RCP 2,6 (associé au SSP 4)

### 4.2.3 Des émissions à 2050 éloignées de la neutralité carbone

Dans son rapport de 2014, l'OMI envisage deux scénarios supplémentaires permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre :

- Un premier scénario consiste à créer de nouvelles zones ECA et à doubler la part des carburants consommés dans les zones à faible émission et à augmenter la part de GNL (de 8 à 25 % à 2050). (La teneur en soufre est considérée comme étant égale à 0,5 % à partir de 2020) :

Table 74 – Fuel mix scenarios used for emissions projection (mass %)

High LNG/extra ECAs case	LNG share	Distillates and LSHFO*	HFO
2012	0%	15%	85%
2020	10%	30%	60%
2030	15%	35%	50%
2050	25%	35%	40%

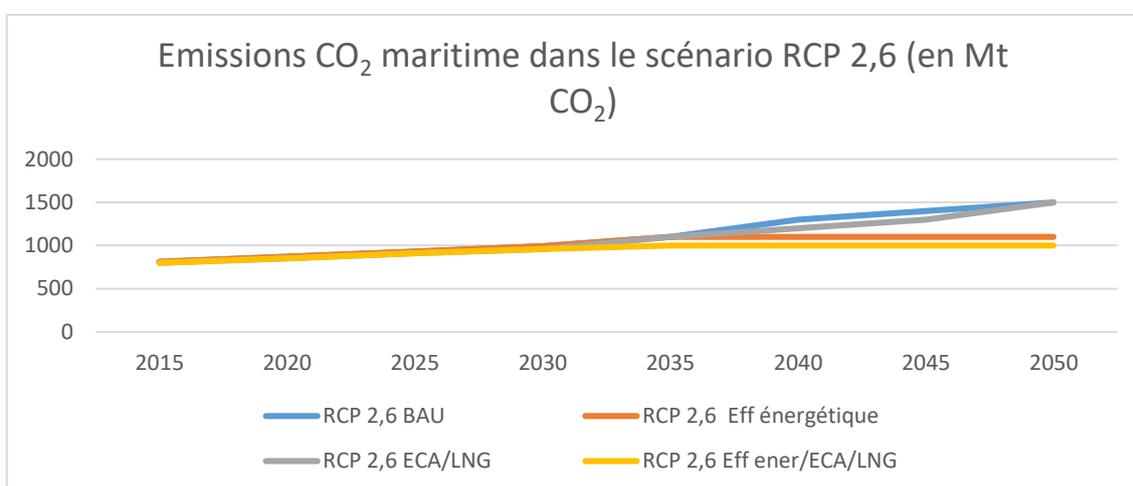
  

Low LNG/constant ECAs case	LNG share	Distillates and LSHFO*	HFO
2012	0%	15%	85%
2020	2%	25%	73%
2030	4%	25%	71%
2050	8%	25%	67%

\* Sulphur content of 1% in 2012 and 0.5% from 2020.

- Un deuxième scénario repose sur un accroissement à 60 % des progrès d'efficacité énergétique par rapport à 2012.

Comme le montre, la figure ci-dessous à partir du scénario RCP 2,6, l'augmentation des zones ECA et de la part du LNG ne réduirait que faiblement les émissions de GES tandis qu'une efficacité énergétique plus importante permettrait de réduire d'environ 25 % supplémentaires les émissions de CO<sub>2</sub> :



Ainsi, même en considérant une amélioration de l'efficacité énergétique des navires de 40 % par rapport à 2012, le rapport 2014 de l'OMI considère que les émissions du secteur maritime pourraient augmenter de 50 à 250 % par rapport à 2012 suivant les données démographiques et économiques, ainsi que les scénarios climatiques qu'elle retient. L'augmentation de 50 % correspond à un scénario RCP 2,6 favorable, dans lequel la consommation mondiale de charbon serait réduite par un facteur voisin de trois d'ici 2050 et celle de pétrole d'environ 20 %, diminuant d'autant le transport maritime associé.

Une amélioration de l'efficacité énergétique allant jusqu'à 60 %, et résultant à la fois d'une amélioration accrue de l'efficacité énergétique à la conception (EEDI) ainsi que de mesures renforcées en exploitation (SEMP) serait, selon le rapport de l'OMI, le meilleur levier pour diminuer les émissions de GES : combinée à une augmentation des zones ECA, elle permettrait de réduire de 30 % supplémentaires les émissions. Mais, dans presque tous les scénarios étudiés, les émissions de GES augmentent en 2050 par rapport à aujourd'hui

#### 4.2.4 Les enseignements complémentaires du quatrième rapport de l'OMI sur les émissions de gaz à effet de serre

Dans son quatrième rapport sur les émissions de gaz à effet de serre du secteur maritime, l'OMI évalue le coût de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée que représenterait la mise en œuvre, à la conception et en exploitation, d'un certain nombre de technologies et envisage leur déploiement à 2030 et 2050 suivant deux scénarios : dans le premier, ces technologies sont rapidement adoptées par l'ensemble des navires construits après 2019, si bien qu'elles seraient déployées dans 54 % de la flotte maritime existante en 2030 (45 % correspondant à des navires remplacés et 9 % à une augmentation de la flotte) et dans 100 % de celle-ci en 2050. Au contraire, dans le second scénario, le déploiement de ces technologies se heurte à un certain nombre d'obstacles, si bien que leur diffusion est plus lente.

Le tableau ci-dessous liste les groupes de technologies considérées par l'OMI, leur coût d'abattement en US\$/tCO<sub>2</sub> évitée [avec un prix du carburant conventionnel (VLSFO) de 375 US \$/tonne pris comme référence, et deux calculs de sensibilité avec un prix du carburant réduit de 50 % ou doublé] et un taux d'actualisation de 4 %] ainsi que la réduction possible de CO<sub>2</sub> obtenue par la mise en œuvre de la technologie correspondante :

Code	Technology group	Conventional fuel price (% change from base price)			CO <sub>2</sub> abatement potential (%)
		-50%	0%	+100%	
		MAC (USD/tonne -CO <sub>2</sub> )			
Group 10	Optimization water flow hull openings	-57	-119	-243	3.00%
Group 3	Steam plant improvements	-49	-111	-235	2.13%
Group 6	Propeller maintenance	-40	-102	-226	3.95%
Group 9	Hull maintenance	-29	-91	-215	3.90%
Group 12	Reduced auxiliary power usage	3	-59	-183	0.71%
Group 8	Hull coating	12	-50	-174	2.55%
Group 2	Auxiliary systems	23	-39	-163	1.59%
Group 1	Main engine improvements	28	-34	-158	0.45%
Group 13	Wind power	64	2	-122	1.66%
Group 16	Speed reduction	72	10	-113	7.54%
Group 5	Propeller improvements	80	18	-106	2.40%
Group 11	Super light ship	116	54	-70	0.39%
Group 4	Waste heat recovery	116	54	-70	3.09%
Group 7	Air lubrication	155	93	-31	2.26%
Group 15B	Use of alternative fuel without carbons	478	416	292	64.08%
Group 14	Solar panels	1,110	1,048	924	0.30%
Group 15A	Use of alternative fuel with carbons	-	-	-	-

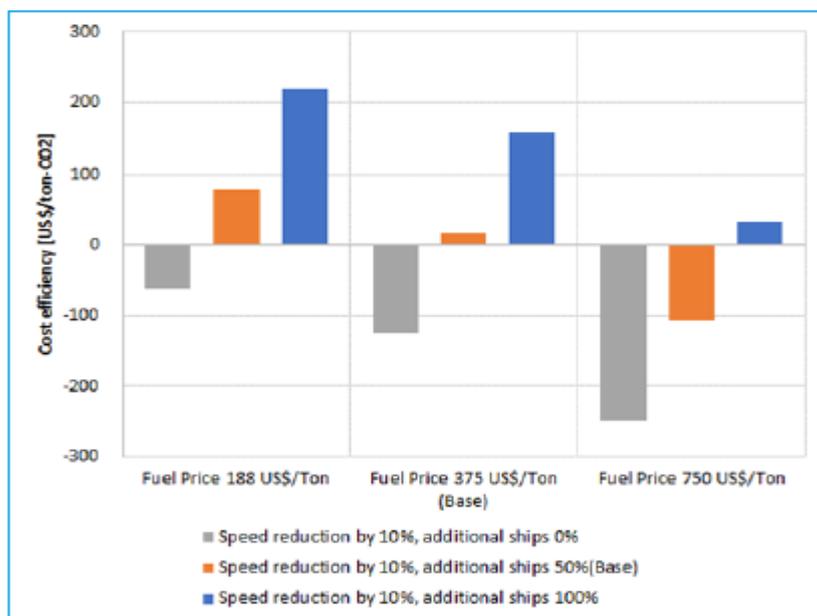
Dans ces conditions, plusieurs enseignements importants en ressortent :

- si tous les navires fabriqués à partir de 2025 intègrent l'ensemble de ces technologies, il est possible d'atteindre les objectifs de réduction envisagés par l'OMI à 2050. Le coût moyen de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée, si toutes les mesures sont mises en œuvre, est de 257 US\$/tCO<sub>2</sub> (ce qui est légèrement inférieur à la valeur pour l'action du carbone retenue par le rapport Quinet à 2030

qui est de 250 €/tCO<sub>2</sub>). Cette valeur dépend principalement du coût des carburants décarbonés : le rapport souligne donc qu'il est crucial de pouvoir disposer d'une quantité suffisante de carburants alternatifs neutres en carbone à un prix raisonnable ;

- en 2050, environ 64 % de la réduction des émissions de carbone provient de l'utilisation de carburants neutres en carbone. Selon le rapport, ce résultat confirme la difficulté d'atteindre les objectifs de moyen-terme fixés par l'OMI en n'utilisant que les mesures d'amélioration de la conception et de réduction de vitesse ;
- dans tous les scénarios considérés, un certain nombre de mesures présentent des valeurs négatives de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée, ce qui veut dire qu'elles sont rentables (au moins quand on considère le TCO (*Total cost of ownership*) du navire pour le prix considéré du fuel de référence (375 US \$/tonne). Le rapport souligne que ces technologies ne représentent une réduction que de 20 % du CO<sub>2</sub> émis à 2050, ce qui représente néanmoins une amélioration presque sans regret non négligeable (en dehors du risque portant sur le prix du *fuel*) ;
- dans le tableau, la réduction de vitesse correspond à une valeur d'abattement de la tonne de CO<sub>2</sub> positive. Ceci s'explique par le fait que pour maintenir un flux constant de marchandises, il est nécessaire d'utiliser des navires supplémentaires qui peuvent être déjà disponibles ou qui peuvent nécessiter de nouveaux investissements. La figure ci-dessous montre que, pour une réduction donnée de vitesse, la valeur de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée varie fortement en fonction à la fois du ratio de navires à construire par rapport aux navires supplémentaires à mettre en œuvre pour assurer le même flux de trafic (ce qui se traduit en dépenses supplémentaires d'investissement) ainsi que du prix des carburants.

*Analyse de sensibilité du coût de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée d'une réduction de vitesse de 10 % en fonction du ratio de nombre de navires à construire par rapport au nombre de navires supplémentaires nécessaires pour assurer le même flux de transport (aucun navire, 50 % ou 100%) et du coût du carburant (188, 375 ou 750 US \$/tonne)*



Source : Quatrième rapport de l'OMI sur les émissions de GES du secteur maritime

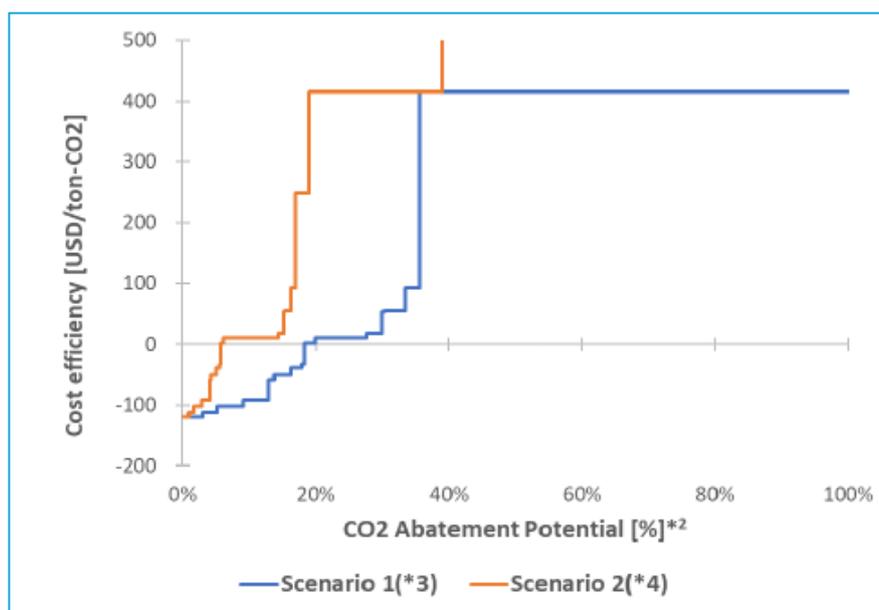
Ces différents enseignements sont illustrés sur la figure ci-dessous :

- Dans le premier scénario, les freins à la diffusion des technologies limitent la réduction des

émissions à une quarantaine de pourcents : au-delà, la valeur d'abattement de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée s'envole ;

Dans le deuxième scénario au contraire, qui prévoit une large disponibilité de carburants alternatifs décarbonés, il est possible d'atteindre une réduction de quasi 100 % des émissions, pour une valeur marginale du CO<sub>2</sub> évitée d'un peu plus de 400 US \$/tCO<sub>2</sub> et une valeur moyenne de 257 US\$/tCO<sub>2</sub> évitée.

#### Coût marginal de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée en fonction de la réduction de CO<sub>2</sub>



Source : Quatrième rapport de l'OMI sur les émissions de GES du secteur maritime

### 4.3 La neutralité carbone à 2050 de la France vue par la SNBC

Mise en place par la loi de transition énergétique relative à la croissance verte, « la stratégie nationale de développement à faible intensité de carbone, dénommée " stratégie bas-carbone ", définit la marche à suivre pour conduire la politique d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre dans des conditions soutenables sur le plan économique à moyen et long termes ». Elle adopte ainsi une vision de long terme à travers un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2050. À plus court terme, elle définit des quantités d'émissions de carbone à ne pas dépasser sur les trois prochaines périodes quinquennales et précise les mesures à mettre en œuvre, dans l'ensemble de l'économie, pour ne pas dépasser ces budgets-carbone.

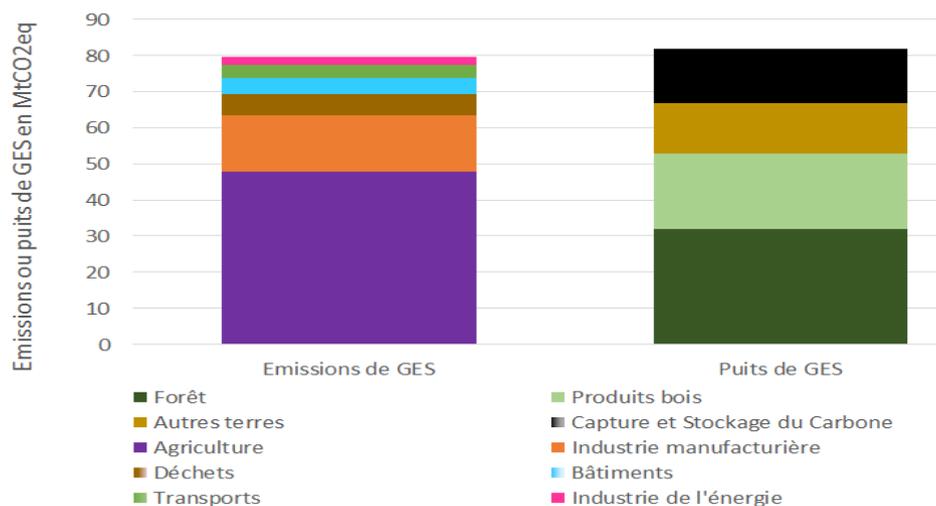
#### 4.3.1 La signification de la neutralité carbone

Si la première SNBC adoptée en 2015 retenait un objectif de division par quatre des émissions d'ici 2050 par rapport à 1990, la nouvelle version de la SNBC publiée en mars 2020 est beaucoup plus ambitieuse puisque, dans la suite de l'Accord de Paris, elle retient l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050, votée par la loi climat-énergie de 2019. A cet horizon, les émissions de gaz à effet de serre produites par l'homme doivent être inférieures aux émissions de gaz à effet de serre absorbées naturellement sur notre territoire.

Ce nouvel objectif conduit à des conséquences très importantes dans les domaines de l'énergie et du transport. On estime en effet que l'absorption naturelle du carbone ne fera que compenser les

émissions résiduelles incompressibles des activités humaines, principalement les émissions des processus industriels. Dès lors, ceci conduit à devoir décarboner presque totalement les émissions énergétiques, en particulier celles du transport.

### L'équilibre entre les émissions et les absorptions de carbone à 2050

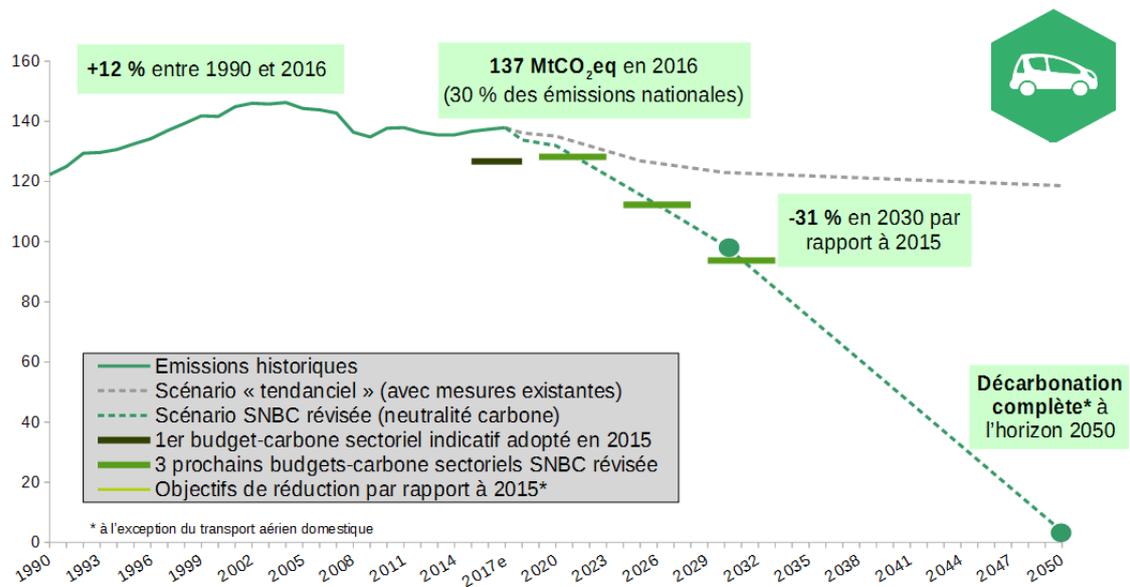


Source SNBC

On estime ainsi que le puits carbone devrait être d'environ 80 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an, ce qui, par rapport à nos émissions actuelles voisines de 471 MtCO<sub>2</sub>eq en 2017, représente une division des émissions par un facteur voisin de 6 : la loi énergie-climat précise d'ailleurs que l'objectif à terme consiste à atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 en divisant les émissions de gaz à effet de serre par un facteur supérieur à six.

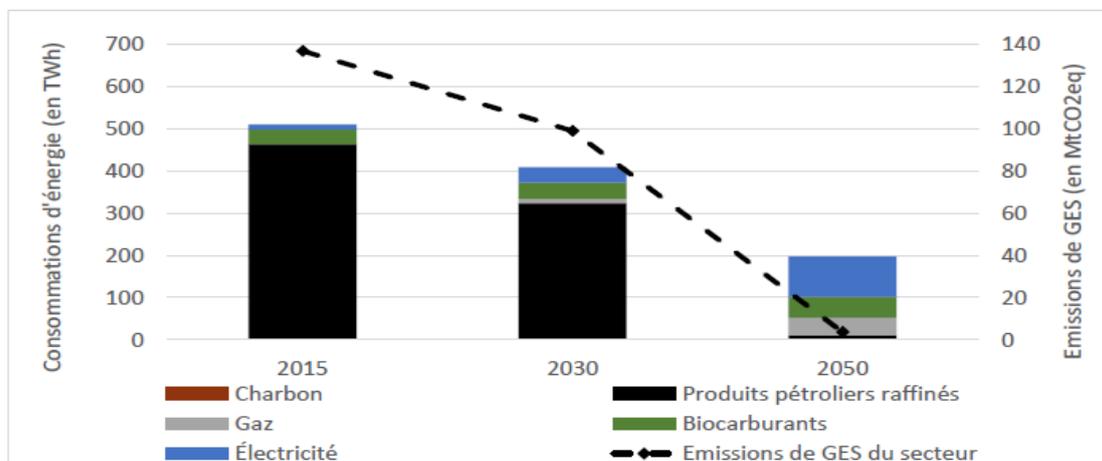
#### 4.3.2 Une décarbonation quasi-complète des transports

La loi d'orientation des mobilités en a précisé les termes pour le transport : il s'agit « d'atteindre, d'ici à 2050, la décarbonation complète du secteur des transports terrestres, entendue sur le cycle carbone de l'énergie utilisée », alors qu'en 2016 les émissions étaient de 137 MtCO<sub>2</sub>e et que les trafics devraient continuer à croître.



Le graphique ci-dessous illustre mieux le devenir envisagé des transports : au-delà des actions de maîtrise de la demande de transport à travers notamment le développement du télétravail et du report modal, une telle réduction conduit à réduire notablement les consommations énergétiques des véhicules et à passer à des motorisations ou à carburants propres. Le passage au véhicule électrique, qui consomme environ trois fois moins d'énergie (du réservoir à la roue) que son équivalent thermique, constituera également un élément majeur de cette transformation.

Consommation d'énergie et émissions de GES des transports en 2015, 2030 et 2050



#### 4.3.3 Une première exception à la neutralité carbone dans les transports à 2050 : le secteur de l'aérien

La SNBC ne concerne que les émissions nationales à l'exclusion de l'aérien international : ce segment est néanmoins traité dans la mesure où sa décarbonation va utiliser une part non négligeable de la biomasse disponible en France.

L'évolution du trafic aérien va naturellement dépendre de la croissance économique, de la

démographie, du prix de l'énergie, etc... Dans tous les cas, les évolutions retenues par la SNBC pour le trafic aérien français sont beaucoup plus faibles que celles observées en Asie, notamment en raison de l'accroissement de la classe moyenne qui utilise régulièrement ce mode de transport, et donc que celles envisagées par l'OACI :

- sur le segment domestique métropolitain, le trafic aérien en passagers-kilomètres pourrait croître, de 2015 à 2050, selon un taux compris entre 0,03 % par an et 1,5 % par an, ce qui représenterait une augmentation comprise entre 12 et 68 % sur la période 2015-2050 ;
- sur les liaisons internationales ou vers les DOM-TOM, le trafic pourrait augmenter de 2,24 % par an sur la même période conduisant à un accroissement de plus du double d'ici 2050 (+ 130 %).

À efficacité énergétique et organisation du ciel constantes, les émissions de gaz à effet de serre directes (et, en première approximation, les effets indirects ainsi que les polluants classiques) pourraient augmenter dans les mêmes proportions. Si nous retenons une amélioration de l'efficacité énergétique d'environ 1,5 % par an, les émissions du secteur aérien domestique pourraient rester constantes, voire baisser de 35 %, tandis que celles de l'aérien international connaîtraient une hausse de 27 à 38 % (suivant la prise en compte ou non de mesures additionnelles, en particulier du dispositif CORSIA, portant notamment sur la demande).

Dans ces conditions, la SNBC envisage un taux d'incorporation de 50 % de biokérosène dans l'aviation domestique comme internationale à 2050, et considère que ce secteur ne sera pas neutre en carbone à 2050 et que le secteur aérien domestique rentrera donc dans les émissions incompressibles qui devront être compensées par le puits carbone. Rappelons, au passage, que l'aérien international ne figure pas dans le périmètre de la SNBC et que la France, au terme de la loi énergie climat, rejette l'utilisation des crédits internationaux de compensation carbone pour ses émissions domestiques.

### Consommations énergétiques du secteur aérien en AME (en Mtep)

	2015	2020	2025	2030	2050
Métropole	0,78	0,72	0,72	0,75	0,76
Métropole- Dom-Com et intra Dom-Com	0,77	0,83	0,90	0,97	1,05
Soutes internationales	5,83	6,30	6,81	7,35	7,92
Ensemble	7,39	7,86	8,42	9,07	9,73

### Consommations énergétiques du secteur aérien en AMS (en Mtep)

	2015	2020	2025	2030	2050
Métropole	0,78	0,71	0,72	0,70	0,52
Métropole- Dom-Com et intra Dom-Com	0,77	0,83	0,90	0,97	0,97
Soutes internationales	5,83	6,30	6,81	7,35	7,35
Ensemble	7,39	7,84	8,42	9,02	8,84

Au total, lorsqu'on prend en compte le secteur aérien domestique et international, les émissions pourraient ainsi augmenter de 20 à 32 %. Une incorporation de 50 % de biokérosène conduirait à réduire ces émissions de 34 à 40 %.

Pour permettre de décarboner partiellement le transport aérien, la SNBC précise qu'il faudra atteindre des gains substantiels d'efficacité énergétique via la R&D, ainsi qu'une introduction massive de carburants alternatifs fortement décarbonés (50 % de biocarburants en 2050 dans le scénario modélisé). Il est également nécessaire de poursuivre les efforts de R&D pour disposer d'avions fonctionnant sans hydrocarbures, comme des avions à hydrogène ou des avions électriques. D'autres

carburants alternatifs, tel le kérosène de synthèse, pourront être utilisés si leur bilan environnemental et énergétique s'avère pertinent.

#### 4.3.4 Le fluvial et le maritime domestique respecteraient la neutralité carbone dans les transports : le secteur du maritime international constituerait une deuxième exception

La SNBC ne concerne que les émissions nationales à l'exclusion du maritime international : ce segment est néanmoins traité dans la mesure où sa décarbonation va utiliser une part de la biomasse disponible en France, sous forme de biogaz.

L'évolution du trafic fluvial et maritime va naturellement dépendre de la croissance économique, de la démographie et du prix de l'énergie. La SNBC va principalement se concentrer sur deux segments le fluvial domestique ainsi que le maritime international :

- après un recul consécutif à la crise de 2008, le fluvial domestique pourrait connaître un fort accroissement en tonnes-kilomètres, de 2015 à 2050, selon un taux de 0,7 % par an, ce qui représenterait sur la période une augmentation de 57 %. La mise en place de l'économie circulaire et des circuits courts pourrait abaisser cette valeur à + 29 % (+ 0,7 % par an). En parallèle, de 2015 à 2050, les gains énergétiques, provenant de l'amélioration des motorisations et de l'amélioration de l'emport des unités fluviales, seraient de 60 %, si bien que la consommation énergétique serait quasiment la même entre 2015 et 2050, voire en baisse de 30 % (dans l'hypothèse du développement de l'économie circulaire et des circuits-courts) ;
- le trafic maritime international augmenterait de 20 %, mais, du point de vue énergétique, cette augmentation serait compensée par un gain d'efficacité énergétique du même ordre de grandeur, si bien que les soutes sur le maritime international sont supposées stables à 1,4 Mtep de 2016 à 2050 ;
- la décarbonation serait totale sur le fluvial et le maritime intérieur : grâce à l'introduction de biocarburants et de biogaz pour le fluvial ; pour les transports maritimes domestiques, la SNBC précise que, en complément des gains d'efficacité énergétique, l'atteinte de l'objectif de neutralité carbone doit être recherchée en permettant le ravitaillement en carburants bas carbone dans tous les ports français et en facilitant la conversion aux autres technologies bas carbone (batteries, biocarburants, hydrogène, voile...). La SNBC prévoit notamment un suramortissement pour les motorisations à faible émissions dans le transport maritime et fluvial ainsi que l'électrification à quai des navires.
- le maritime international (qui n'est pas compris dans le périmètre de la SNBC) constituerait une deuxième exception à la règle de la neutralité carbone dans les transports : la SNBC envisage simplement une décarbonation partielle de ce segment à 2050, reposant sur une incorporation de 50 % de biogaz. Sur ce segment, le mix énergétique pourrait évoluer suivant le tableau ci-dessous :

##### Mix énergétique du secteur maritime en AMS (en Mtep)

	2015	2020	2025	2030	2050
GNL	0 %	2 %	3 %	4 %	50%
dont GNL bio	0%	0%	0%	0%	50%
dont GNL fossile	0%	2%	3%	4%	0%
Total fioul lourd (haute et basse teneur en soufre)	100%	98%	97%	96%	50%
dont distillats et fioul lourd à basse teneur en soufre (0,5%) - fossile	15%	30%	33%	35%	19%
dont fioul lourd – fossile	85%	68%	64%	61%	31%

Source : MTES

- dans le domaine maritime, l'article 147 de la loi d'orientation des mobilités précise que la France défend, au niveau de l'Organisation maritime internationale, une stratégie ambitieuse de réduction des émissions de gaz à effet de serre et des polluants atmosphériques en navigation internationale, en cohérence avec ses engagements dans le cadre de l'accord de Paris sur le climat et de réduction des pollutions atmosphériques. En parallèle, l'État engage une concertation avec l'ensemble des parties prenantes pour définir une stratégie d'accélération de la transition vers une propulsion neutre en carbone à l'horizon 2050 pour l'ensemble des flottes de commerce, de transport de passagers, de pêche et de plaisance sous pavillon national. La stratégie porte sur les moyens d'accompagnement et leur conditionnalité et, pour les flottes n'effectuant pas des liaisons internationales, sur les objectifs intermédiaires et les leviers réglementaires à activer, tant au niveau national qu'europpéen, en veillant à ne pas créer de distorsions injustifiées. L'État définit un programme permettant d'intégrer ces impératifs d'accélération de la transition écologique dans sa politique de renouvellement de la flotte côtière d'État.

## 5 Les systèmes de propulsion du transport maritime neutres en carbone

La compétition dans la mise au point de navires neutres en carbone est engagée : soixante entreprises, incluant des compagnies maritimes, dont Maersk, des entreprises de commerce des commodités, dont Cosco International, Cargill, Trafigura, le groupe minier Anglo American (AALL), et des banques, telles que Citigroup (C.N), ABN AMRO (ABNd.AS) et la Société Générale (SOGN.PA), se sont engagées dans la *Getting to Zero Coalition* et cherchent à ce que des navires et des carburants répondant à cet objectif, ainsi que les infrastructures associées, soient prêts dès 2030. Les ports d'Amsterdam, d'Anvers, de Brême, d'Hambourg et de Rotterdam, de même que les ports de Dunkerque et du Havre en font également partie<sup>205</sup>.

### 5.1 La propulsion vélique

La propulsion des navires par le vent constitue un moyen de propulsion complémentaire (assistance vélique) et, sur certains marchés de niche, un moyen de propulsion principal. Neutre en carbone, cette propulsion permet de réduire sensiblement la consommation énergétique. Le FIT envisage ainsi des gains énergétiques pouvant aller jusqu'à 30 % : ceux-ci vont cependant naturellement dépendre de la taille du navire, de sa vitesse, de son trajet ... Plusieurs technologies sont en cours d'expérimentation : kites, voiles-ailes ou voile rigide (éventuellement avec gréements à balestron), voile souple, profil aspiré, rotor, turbine, qui verront le jour en France en 2021. Deux obstacles principaux doivent être levés pour en favoriser le développement : le manque d'informations fiables sur les performances, l'opérabilité, la sécurité, la durabilité et les répercussions économiques des technologies de propulsion par le vent, ainsi que la difficulté d'accès au capital pour le développement des technologies, en particulier lors des phases de construction et des tests de démonstrateurs à grande échelle. Le marché n'est pas encore assez développé pour permettre un volume de production industrielle, mais la France possède des atouts et des technologies, principalement issues de la course au large et du nautisme, pour se positionner sur ce marché naissant à fort potentiel<sup>206</sup>.

### 5.2 L'électricité

**Le recours à l'électricité pour les bateaux et navires effectuant des courts trajets** (*short sea shipping* ou *ferries*) ou ceux pouvant effectuer des arrêts réguliers pour se recharger paraît la meilleure solution en termes d'émissions de gaz à effet de serre.

Cette technique n'est cependant pas encore rentrée dans une phase de déploiement industriel : les standards de recharge dans l'électrique (plus de 1 MWe) pour des engins de forte puissance sont en cours de développement (principalement pour les poids lourds), même si certains fournisseurs proposent déjà des solutions. Le chargement de conteneurs à bord de navires de petite taille contenant le carburant (électricité ou hydrogène) peut également être une solution pour des trajets courts.

### 5.3 Le gaz naturel

**Le recours au gaz naturel semble la solution la plus simple à court terme** : il permet en effet, pour un surcoût modéré, de répondre aux objectifs classiques de dépollution. Il peut également conduire à une réduction des émissions des gaz à effet de serre d'environ 20 % si les phénomènes de *methane slip*

---

<sup>205</sup> <https://www.reuters.com/article/us-climate-change-un-shipping-idUSKBN1W81B8>

<sup>206</sup> De premiers navires devraient voir le jour en France à partir de 2021 pour Louis Dreyfus Armateurs, Alizés, Neoline ou TOWT. Ailleurs en Europe certains armateurs tels que Maersk, Viking ou Scandline naviguent déjà grâce à la puissance du vent. L'Asie et l'Amérique du Nord se positionnent également sur ce nouveau marché. K-Line, un armateur japonais, s'est d'ailleurs engagé avec la société française Airseas.

(autrement dit d'émissions de méthane imbrûlé) sont pris en compte dès le choix du type de moteur : il pourrait donc être logique, lors de la conception, d'imposer aux navires utilisant le gaz naturel de recourir à des motorisations permettant de réduire ce phénomène (privilégiant probablement les moteurs deux temps à injection à haute pression<sup>207</sup>).

À moyen terme, l'utilisation du gaz naturel d'origine fossile ne permettra pas d'atteindre les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre : dans son *World energy outlook* de 2019, l'Agence internationale de l'énergie considère que le recours au gaz naturel dans le secteur maritime risque de conduire à des *stranded assets* (autrement dit à des navires qui, compte tenu des objectifs renforcés de réduction des émissions de GES, pourraient ne plus être utilisables à partir d'une certaine date).

À moyen terme, le recours au gaz naturel n'est donc valable que dans la mesure où il permettrait de réduire très fortement les émissions de gaz à effet de serre sous peine pour les armateurs de se retrouver avec des navires qui ne répondraient pas aux normes d'émissions futures. Quatre solutions sont cependant possibles :

- le recours au biogaz : mais son coût de production est trois à quatre fois plus élevé que le coût d'importation du gaz naturel fossile (cf. tableau ci-dessous), sa disponibilité restera limitée, et sa production n'est que peu développée à l'étranger. Dans un monde neutre se rapprochant de la neutralité carbone, le gaz utilisé devra correspondre réellement à du biogaz et non à l'achat de certificats. Le biogaz peut également être produit par pyrogazéification, autrement dit par une transformation du bois en gaz, sous l'effet de la chaleur et en l'absence d'oxygène. Cette technique est cependant *a priori* plus coûteuse que la précédente ;
- le méthane de synthèse : le méthane peut également être produit sous forme de gaz naturel de synthèse, en fabriquant de l'hydrogène par électrolyse de l'eau puis, dans un second temps, en lui adjoignant du CO<sub>2</sub>. Cette technique est cependant *a priori* plus coûteuse que la méthanisation ;
- l'utilisation de moteurs flexibles : elle permettrait en effet dans le futur de basculer vers des carburants plus proches de la neutralité carbone, notamment l'ammoniac ;
- **le recours au GNL équipé d'un dispositif de capture et de stockage du CO<sub>2</sub>** pour les navires les plus importants devrait permettre de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> d'au moins 80 % : cette solution illustrée sur la figure ci-dessous et qui figure dans la stratégie japonaise de décarbonation du transport maritime<sup>208</sup> mérite d'être expérimentée et documentée.

Ce dispositif pourrait en effet constituer une très bonne solution pour le futur pour les navires d'une certaine taille sur lesquelles il est possible d'implanter une solution de CCS. Si elle devait se développer, elle impliquerait la mise en place d'une chaîne de stockage du CO<sub>2</sub> **ainsi que l'installation dans certains ports français d'installations de liquéfaction de gaz**. Cette technique est encore au stade de l'expérimentation : le CCS (Carbon Capture and Storage), déjà en œuvre dans l'industrie, doit être adapté aux navires et ne trouvera son application économique (tout au moins dans un premier temps) que pour les navires de plus grande taille.

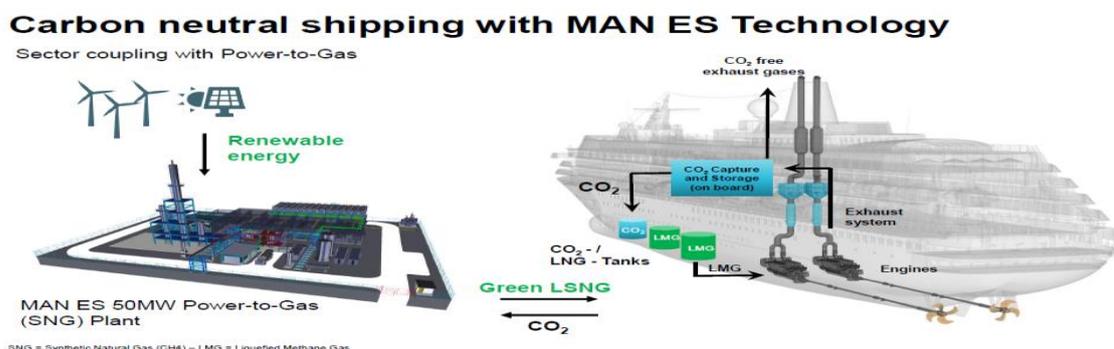
Réunis au sein de l'*Oil and Gas Climate Initiative* (OGCI), douze géants pétroliers et gaziers, dont Saudi Aramco, ExxonMobil, Chevron et Total, ont annoncé en juillet 2020 leur intention de réduire collectivement "l'intensité carbone" de leurs activités de production : ce qui se traduira, dans le domaine du maritime, par une expérimentation de capture et stockage du

---

<sup>207</sup> Voir sur ce point : *Life Cycle GHG Emission Study on the Use of LNG as Marine Fuel*, Thinkstep, 10/04/2019, <https://sphera.com/reports/life-cycle-ghg-emission-study-on-the-use-of-lng-as-marine-fuel/>

<sup>208</sup> *Roadmap to Zero Emission from International Shipping*, JSTRA, 2018, [https://www.mlit.go.jp/en/maritime/GHG\\_roadmap\\_en.html](https://www.mlit.go.jp/en/maritime/GHG_roadmap_en.html)

carbone sur un navire<sup>209</sup>. Dans le schéma ci-dessous, le motoriste Man va encore plus loin puisqu'il envisage la recombinaison du CO<sub>2</sub> ainsi capturé avec de l'hydrogène produit par électrolyse de l'eau pour fabriquer du méthane.



Dans la mesure où l'une de ces solutions pourrait être développée pour le maritime, la possibilité d'effectuer des soutages de GNL dans certains ports français (soit à l'aide d'équipements fixes, soit à l'aide d'avitailleurs) ainsi que la capacité de stocker du CO<sub>2</sub> sous forme liquide doivent être étudiées.

## 5.4 Les biocarburants : le biométhanol et le bioéthanol

Le biométhanol est présenté par le quatrième rapport de l'OMI comme l'un des carburants neutres en carbone les moins coûteux. Son coût est cependant environ deux fois plus élevé que celui des fiouls lourds. La prospective 2050 de DNV-GL le considère également comme un très bon candidat dans un monde neutre en carbone. Le coût de production du bioéthanol, qui peut être mélangé à l'essence, est plus élevé. Le biométhanol<sup>210</sup> (qui nécessite un réservoir 2,5 fois plus grand que celui d'un fioul lourd pour la même quantité d'énergie) n'a cependant rencontré que peu d'intérêt jusqu'à aujourd'hui de la part des armements français même si le premier producteur mondial de méthanol, la société Methanex, qui est l'une des plus grandes sociétés mondiales productrices de méthanol, l'utilise pour la consommation d'un certain nombre de ses navires depuis plusieurs années.

<sup>209</sup> OGCI is testing the potential for capturing carbon dioxide on a ship out at sea, and injecting it into an offshore CCUS hub store of the type OGCI's KickStarter initiative is supporting. OGCI member company Saudi Aramco has already demonstrated 40% carbon capture on a heavy-duty truck, using a type of mobile carbon capture technology. OGCI aims to work with a shipping company to demonstrate the technology on a marine vessel. <https://oilandgasclimateinitiative.com/talking-transition-decarbonizing-transport-ogcis-role/>

<sup>210</sup> Le biométhanol peut être utilisé dans une pile à combustible ou dans un moteur thermique, ce qui est déjà le cas dans un certain nombre de navires : le premier producteur mondial de méthanol l'utilise comme carburant pour un certain nombre de ses navires depuis plusieurs années. Il peut être également utilisé avec de l'huile (colza, tournesol, soja, palme) pour produire du gazole.

Table 76 - Future costs fuel at 2030 and 2050

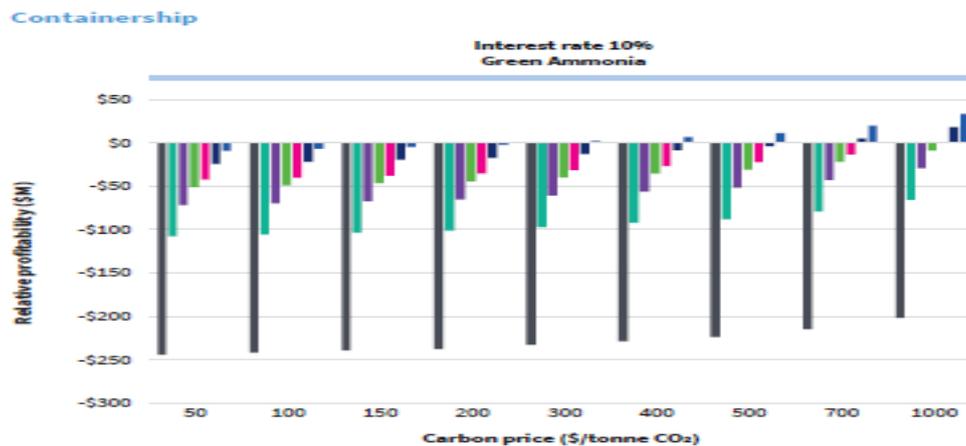
Fuels	Year	
	2030	2050
HFO (VLSFO)	375	375 (9USD/GJ)
LNG	590	590 (12USD/GJ)
Hydrogen	3,300	3,300 (28USD/GJ)
Ammonia	660	660 (32USD/GJ)
Methanol	400	400 (20USD/GJ)
Ethanol	670	670 (25USD/GJ)
Synthetic methane	-	4,500 (90USD/GJ)
Biomass methane	-	2,250 (45USD/GJ)
Synthetic methanol	-	1,500 (75USD/GJ)
Biomass methanol	-	800 (40USD/GJ)

Unit: Unit: USD/tonne, and the cost per Low Calorimetric values are shown in the brackets

Source : quatrième rapport de l'OMI sur les émissions de gaz à effet de serre : ces coûts comprennent notamment pour le GNL un coût additionnel à celui du carburant seul afin de tenir compte des coûts supplémentaires de logistique et de soutage.

De manière plus générale, si les biocarburants étaient disponibles, le recours à des carburants neutres en carbone devrait se traduire par une augmentation initiale de prix des carburants de l'ordre de 100 à 150 €/tCO<sub>2</sub> (cf Energy transitions commission<sup>211</sup>) par rapport aux fiouls lourds, si bien que le prix du transport maritime subirait des augmentations de 65 % à 90 % : compte-tenu du poids du coût du transport (voisin généralement de 1 %) dans le prix final au consommateur pour l'importation des produits manufacturés, cela se traduirait néanmoins par une faible augmentation de prix pour le consommateur.

Cependant, étant donné la nature extrêmement concurrentielle du transport maritime international et le fait que le raisonnement ne peut se limiter aux importations de produits manufacturés, il serait souhaitable que l'incitation à passer à des carburants neutres en carbone puisse se traduire par la mise en place d'un signal prix carbone coordonné au niveau international, de préférence à l'OMI, voire, pour les trafics internes à l'UE-27, par l'Union européenne.



<sup>211</sup> Mission Possible: Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century : sectoral focus shipping, Energy transitions commission, - page 26 - 2018, [https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2020/08/ETC-sectoral-focus-Shipping\\_final.pdf](https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2020/08/ETC-sectoral-focus-Shipping_final.pdf)

**Le recours aux biocarburants peut présenter de l'intérêt**, notamment en période de transition en attendant les solutions totalement décarbonées, car ils peuvent permettre aux navires existants de répondre aux objectifs de l'OMI.

Mais, compte-tenu de leur « relative rareté » et des compétitions d'usage associées, il est difficile de considérer, sauf dans des cas particuliers, les biocarburants (tels le biométhanol) comme la solution principale à long terme pour le transport maritime (même si le *Lloyd's Register* et l'UMAS soulignent leur intérêt en termes de coût). Cette rareté sera d'autant plus forte que d'autres secteurs (avions, plastiques ...) qui n'ont pas d'autres solutions pour la neutralité carbone seront probablement prioritaires dans leur utilisation.

Transport et Environnement<sup>212</sup> souligne enfin le problème de contrôlabilité que poserait l'utilisation à l'international des biocarburants pour le maritime.

## 5.5 L'hydrogène

**L'hydrogène** (fabriqué à partir de l'électrolyse de l'eau ou par un procédé de vaporeformage associé à la capture et au stockage du CO<sub>2</sub>) pourrait également constituer une solution permettant de se rapprocher de la neutralité carbone. Mais, son stockage (sous forme liquide ou gazeuse) représente un volume de quatre à huit fois plus important que le fioul lourd actuel, sa gazéification ou sa liquéfaction (qui suppose une installation capable de maintenir l'hydrogène à - 253 °C) consomment respectivement 15 % et 35 % de l'énergie initiale et son utilisation exige un très haut niveau de sécurité : **en l'état actuel de la technologie, les piles à combustible ne semblent pas adaptées pour des navires de grande taille** (puissance insuffisante, durée de vie dans une atmosphère salée de quelques milliers d'heures ...).

Sa combustion pourrait également reposer sur l'utilisation (et le développement) de motorisations thermiques. Ceux-ci doivent cependant être mis au point : cette combustion entraînera le rejet de NOx qui devront être captés (autant une PAC ne rejette que de l'eau, autant un moteur thermique à hydrogène ou ammoniac va conduire à la formation de NOx).

Armateurs de France et Total soulignent cependant que la technologie n'est pas aujourd'hui mature :

- il n'existe pas de moteur thermique hydrogène fonctionnant en France : différentes expérimentations sont en cours de lancement en Europe. Citons notamment la CMB Compagnie maritime belge<sup>213</sup> (qui vient de racheter la société britannique Revolve Technologies Limited (RTL), spécialisée dans la fabrication de moteurs alimentés à l'hydrogène). Sa technologie a notamment été utilisée à bord de l'Hydroville, navire appartenant à la CMB et dont les moteurs utilisent à la fois du diesel et de l'hydrogène. La CMB devrait mettre en service dans les prochaines années plusieurs navires à hydrogène ;
- la puissance des PAC est limitée à 2 MW : les navires actuellement en expérimentation utilisent des PAC de quelques centaines de kW. De plus, les PAC supportent mal la présence de sel et de

---

<sup>212</sup> Roadmap to decarbonising European shipping, Transport and Environment, November 2018

<sup>213</sup> La Compagnie Maritime Belge (CMB) vient de racheter la société britannique *Revolve Technologies Limited* (RTL), spécialisée dans la fabrication de moteurs alimentés à l'hydrogène. L'entité fait désormais partie de CMB Technologies. Sa technologie a été utilisée à bord de l'Hydroville (CMB) avec des moteurs utilisant à la fois du diesel et H<sub>2</sub>. La technologie CMB a été fournie au japonais Tsuneishi qui veut se doter d'un ferry à l'hydrogène, dont la mise en service est prévue en 2021. CMB, en partenariat avec Windcat Workboats va également participer au développement de l'Hydrocat qui sera utilisé en Mer du Nord dans une ferme marine aux Pays-Bas. <https://hydrogentoday.info/news/5644>

particules dans l'air ce qui entraîne un vieillissement prématuré. Elles présentent cependant l'avantage de ne rejeter que de l'eau (au contraire du moteur hydrogène qui va rejeter également des NOx) ;

- le sujet de l'hydrogène liquide n'a pas été beaucoup exploré en France. De plus, il n'existe en Europe que quelques installations de liquéfaction de l'hydrogène. Or, pour éviter les pertes dans le transport, il est préférable que le lieu d'utilisation soit proche du lieu de production.

Dès lors que son coût de production sera compétitif, l'hydrogène pourrait cependant trouver sa place pour des navires de service ou pour les navires effectuant de courts trajets.

Au-delà des réticences des armateurs, la mise au point en France de solutions à hydrogène liquide supposerait le développement d'infrastructures d'avitaillement, la maîtrise parfaite de l'hydrogène à bord, et la mise au point de moteurs adaptés ou de PAC. Il semble donc nécessaire aujourd'hui de chercher à fabriquer des PAC plus puissantes et robustes, de documenter la durée de vie des différents types de PAC et, en parallèle, d'expérimenter l'utilisation de l'hydrogène dans des moteurs thermiques adaptés.

## 5.6 L'ammoniac

Par opposition à l'hydrogène, l'ammoniac, lorsqu'il est fabriqué à partir d'hydrogène neutre en carbone, peut également permettre de se rapprocher de la neutralité carbone. Il présente plusieurs avantages : compte tenu de sa densité énergétique volumique et de l'isolation nécessaire, son stockage représente un volume 2,3 fois plus important que celui du fioul lourd, sa température de liquéfaction est de -33,5 °C (et de +24 °C sous une pression de 10 bars). Ce carburant utilise du gaz ammoniac liquéfié et ne doit pas être confondu avec la solution aqueuse d'ammoniac qui peut être achetée dans les supermarchés.

L'évaluation économique menée notamment par la Lloyd's et l'UMAS montre que **la solution ammoniac** (dont la toxicité réclame la mise en place de dispositifs de sécurité adaptés) serait ainsi moins onéreuse que la solution hydrogène. Dès lors, l'UMAS envisage ainsi que l'ammoniac puisse représenter 75 % à 99 % de la part du marché de l'énergie dans le transport maritime à 2050 suivant le scénario considéré (objectifs de l'OMI à 2050 ou scénario 1,5 °C)<sup>214</sup> : la solution de l'ammoniac est cependant très peu explorée en France actuellement, alors que la Grande Bretagne semble beaucoup miser sur cette solution à partir de 2030<sup>215</sup>. Le rapport<sup>216</sup> de la société coréenne de classification, paru en janvier 2020, insiste également sur les avantages de l'ammoniac en termes de coût et d'émissions de gaz à effet de serre.

L'ammoniac peut être utilisé soit dans un moteur, soit dans une PAC (avec les mêmes limitations de puissance que pour l'hydrogène). L'ammoniac présente un caractère toxique extrêmement élevé pour l'homme : son utilisation pour la propulsion nécessiterait *a minima* de reprendre les dispositions utilisées à l'intérieur des navires pour les installations frigorifiques. De plus, sa combustion nécessite un traitement post-combustion des oxydes d'azote.

Plusieurs navires à l'ammoniac sont en cours de construction<sup>217</sup>. Cette solution, peu considérée en France jusqu'à présent, mériterait cependant d'être étudiée, en particulier pour les navires qui utilisent l'ammoniac comme fluide frigorifique.

---

<sup>214</sup> Source: UMAS GloTraM (2019)

<sup>215</sup> Voir notamment : *UK Clean Maritime Plan*, [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/815664/clean-maritime-plan.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/815664/clean-maritime-plan.pdf)

<sup>216</sup> *Forecasting the alternative maritime fuel*, Korean register, January 2020 [http://www.krs.co.kr/TECHNICAL\\_FILE/KR\\_Forecasting%20the%20Alternative%20Marine%20Fuel\\_Ammonia.pdf](http://www.krs.co.kr/TECHNICAL_FILE/KR_Forecasting%20the%20Alternative%20Marine%20Fuel_Ammonia.pdf)

<sup>217</sup> <https://www.ammoniaenergy.org/articles/ammonia-fueled-ships-entering-the-design-phase/>

## 5.7 Les e-carburants

Dans un monde neutre en carbone où les biocarburants seront rares, le recours aux e-fuels qui consiste à ajouter des molécules de carbone à de l'hydrogène produit par électrolyse de l'eau, est une solution possible qui doit être étudiée. Outre son coût, cette solution pourrait cependant être contrainte par la disponibilité des molécules de CO<sub>2</sub> d'origine non fossile qui suppose la mise en place de la capture du CO<sub>2</sub> nécessaire à partir d'installations brûlant de la biomasse ou, ce qui est beaucoup plus incertain dans l'état actuel des technologies, à partir du CO<sub>2</sub> présent dans l'air.

## 5.8 Les moteurs adaptables

Si certains segments peuvent trouver une solution spécifique, - ainsi en est-il du biodiesel (moins volumineux que le biogaz) pour la pêche hauturière (qui cherche à limiter le volume du carburant embarqué pour respecter les limitations de jauge qui lui sont imposées) -, les pistes pour les navires intermédiaires sont encore incertaines, ce qui conduit à envisager pour les nouveaux navires des motorisations (voire une architecture d'ensemble) adaptables dans le futur à des carburants se rapprochant de la neutralité carbone.

Un motoriste propose déjà des motorisations permettant de brûler aujourd'hui des hydrocarbures classiques (y compris des biocarburants et des e-fiouls), mais aussi d'incorporer demain en plus ou moins grande quantité de l'ammoniac ou de l'hydrogène ... La mise en place de tels moteurs qualifiés par certains de « couteaux suisses », devrait permettre à l'armateur correspondant d'être certain qu'il ne met pas en service un futur *stranded asset* autrement dit un actif qui ne serait plus utilisable demain dans un monde neutre en carbone ; elle pourrait dans une phase de démarrage être accompagnée par des aides de l'État afin de compenser une partie de la différence entre le prix d'un moteur n'utilisant qu'un type de carburant et celui d'un moteur « couteau suisse » .

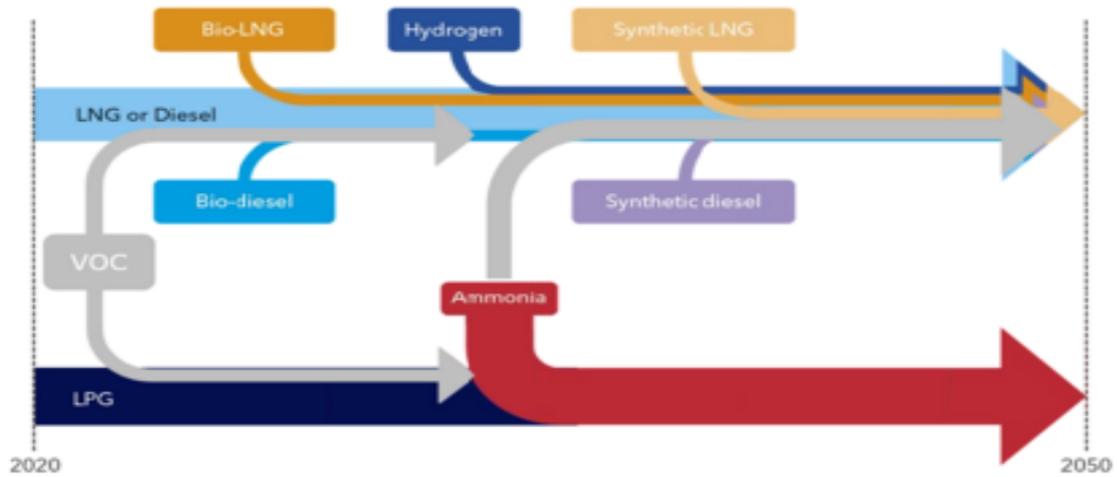
La stratégie maritime du Royaume-Uni prévoit leur déploiement dès 2025: « *By 2025 we expect that all new vessels being ordered for use in UK waters are being designed with zero emission propulsion capability* ». Cette date de 2025 est très proche alors que les solutions techniques ne sont pas encore au point. Ceci pourrait conduire à mettre en place des dispositifs conséquents d'aide à l'investissement pour de tels navires jusque 2030 et à une obligation à partir de cette date. Ce dispositif d'aides devrait permettre de favoriser, à court terme, l'expérimentation de nouvelles technologies (GNL avec CCS, motorisation thermique pour l'ammoniac et l'hydrogène, motorisations adaptatives, propulsion électrique à batteries ...).

Le Bureau Véritas a en particulier indiqué que l'un des motoristes européens proposait désormais un moteur pouvant fonctionner avec différents carburants à bas point d'éclair (méthanol, éthanol, GPL, DME<sup>218</sup> ...).

La figure ci-dessous provenant du DNV-GL illustre les évolutions possibles d'un moteur adaptable, consommant au départ du diesel ou du GNL et pouvant ensuite admettre en plus ou moins grande proportion d'autres carburants :

---

<sup>218</sup> Diméthyl éther qui peut être considéré comme un biodiesel et qui peut être produit à partir de biomasse dans des procédés de deuxième génération utilisant la plante entière



Il convient de souligner que l’adaptabilité du moteur à différents types de carburants doit également concerner les réservoirs présents à l’intérieur du navire ainsi que les infrastructures de ravitaillement.

## 6 Les signaux économiques nécessaires à la décarbonation du transport maritime

Les travaux menés par le Lloyd's Register et l'UMAS, l'OMI ainsi que par le FIT<sup>219</sup> (dont le rapport sur la décarbonation du maritime à 2035 présente une réflexion qui a largement inspiré cette annexe) fournissent quelques enseignements.

### 6.1 La signification du prix du carbone

En émettant des gaz à effet de serre, la génération actuelle crée une modification progressive du climat de la terre qui ne la gêne que très faiblement mais qui sera supportée par les générations futures. Nicholas Stern<sup>220</sup> qualifie ainsi l'absence d'internalisation des dommages causés par les émissions de gaz à effet de serre comme le plus grand échec du marché : les futures générations devront payer le prix de la pollution qui est émise aujourd'hui gratuitement par les générations actuelles. L'absence de prise en compte de cette externalité, renforcée par une fiscalité qui l'ignore également, conduit à favoriser des produits plus émetteurs : le fioul lourd maritime est ainsi détaxé tandis que l'électricité est taxée.

### 6.1 Les initiatives individuelles et les démarches volontaires et de labellisation

Le rapport du FIT souligne que certains acteurs recherchent un effet d'innovation qui leur permettrait de créer un nouveau marché<sup>221</sup> et que de nombreux autres se lancent, notamment sous l'impulsion des ONG, dans des démarches volontaires de réduction de leurs émissions et/ou de leur empreinte carbone<sup>222</sup>.

Cette multiplicité d'initiatives résultant des acteurs économiques du secteur et allant vers de moindres émissions pourrait être considérée comme suffisante pour réaliser la transition vers un monde neutre en carbone. Le rapport du FIT écarte cependant cette idée compte-tenu des failles du marché et des barrières, qui empêchent d'atteindre ce but.

---

<sup>219</sup> *Decarbonising Maritime Transport Pathways to zero-carbon shipping by 2035*, International forum transport, 2018, <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/decarbonising-maritime-transport.pdf>

<sup>220</sup> « *The problem of climate change involves a fundamental failure of markets: those who damage others by emitting greenhouse gases generally do not pay* »; "Climate change is a result of the greatest market failure the world has seen. The evidence on the seriousness of the risks from inaction or delayed action is now overwhelming. We risk damages on a scale larger than the two world wars of the last century. The problem is global and the response must be a collaboration on a global scale", <https://www.theguardian.com/environment/2007/nov/29/climatechange.carbonemissions>

<sup>221</sup> Le rapport cite ainsi les exemples du cargo Yara Birkeland entièrement électrique, ou du ferry Tycho Brahe, entre la Suède et le Danemark, utilisant une technologie hybride diesel/électrique avec des batteries de 4,6 MWh, rechargeables lors des escales grâce à une technologie développée par ABB en moins de 10 minutes (probablement pour moins de la moitié de la capacité de la batterie)

<sup>222</sup> Le rapport évoque ainsi plusieurs démarches volontaires telles que le *Sustainable Shipping Initiative* (SSI), le *Clean Cargo Working Group* (CCWG), le *Green Marine*, le *Green Ship of the Future* et le *Clean Shipping Project*. Il cite également la *World ports climate initiative*, fondée par 55 des plus grands ports mondiaux dont les adhérents s'engagent à développer des stratégies de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre : le port d'Oslo a déjà affiché son objectif de réduire de 85 % ses émissions de CO<sub>2</sub> d'ici 2030 ( <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-11-08/oslo-s-ambitious-plan-to-decarbonize-its-port> ) et utilise des grues zéro-carbone. La Norvège a par ailleurs adopté un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre émises par le transport maritime, de 50 % avant 2030 par rapport aux niveaux de 2005, dépassant en cela l'ambition fixée par l'OMI pour le secteur maritime mondial.

## 6.2 Les failles de marché et les barrières qui retardent la décarbonisation

Outre la défaillance de marché évoquée par Nicholas Stern, plusieurs barrières et failles du marché retardent la décarbonisation :

- *la myopie à l'égard du long terme dans les décisions de construction* : le risque de *stranded asset*, de coût échoué, n'est généralement pas pris en compte par les acteurs : un monde neutre en carbone à une date donnée devrait conduire à la fabrication de navires neutres en carbone 25 ans auparavant. De même, des décisions d'investissements dans de nouveaux navires vont tenir compte des conditions d'approvisionnement actuels des navires et non de la possibilité de disposer de biocarburants ou d'autres énergies alternatives ;
- *les divergences d'intérêt entre acteurs* : l'armateur peut avoir intérêt à fabriquer un navire lui coûtant moins cher, mais peu efficace sur le plan énergétique, tandis que le chargeur devra supporter les coûts énergétiques de son exploitation. En outre, les nombreux acteurs présents dans l'économie du maritime peuvent conduire à retarder la diffusion de l'innovation : la généralisation d'un nouveau carburant (ammoniac, hydrogène, biocarburants, électricité, ...) ne peut s'envisager que dans la mesure où les navires sont conçus à cet effet, le port en permet l'approvisionnement, la production est suffisante, les chargeurs sont prêts à l'utiliser ... ;
- *une information imparfaite et asymétrique* : celle-ci ne permet pas aujourd'hui à tous les acteurs de connaître l'état d'avancement des différentes technologies (parfois survenues par certains promoteurs de filières), en particulier des différents types de carburants et de motorisations, qui pourraient être mises en œuvre dans le maritime, et retarde ainsi la diffusion des innovations les plus prometteuses ;
- *les normes d'émissions à la conception* : la mise en place de normes d'émissions à la conception des navires à partir d'une date donnée peut conduire les armateurs à anticiper leurs commandes et à s'équiper de navires plus polluants et moins coûteux, ou après l'échéance à prolonger l'utilisation de navires nettement plus anciens et plus émetteurs : une première solution consiste, pour la puissance publique, à mettre en place des subventions pour inciter les armateurs à continuer à s'équiper après l'échéance. Une deuxième solution consiste à renforcer progressivement la norme sur les navires en exploitation en parallèle de la norme sur la conception des navires, et ainsi à faire évoluer parallèlement le renforcement des normes EEDI et les normes en exploitation, à travers l'EEXI ou le renforcement des SEEMP.

## 6.3 Des pistes possibles de solutions

Plusieurs pistes de solutions, dont certaines sont mises en avant par le rapport du FIT, sont envisageables :

- la première d'entre elles consiste à introduire dans l'économie un signal prix associé à l'externalité carbone et à annoncer sa trajectoire longtemps à l'avance afin que tous les acteurs puissent l'anticiper. Correspondant au contenu carbone des carburants, ce signal peut être ajouté au prix du carburant soit directement au moyen d'une taxe, soit, indirectement, à travers la mise en place d'un marché de quotas d'émissions, soit enfin de manière équivalente par la mise en place d'un système de normes portant sur les émissions des navires. La solution la plus efficace du point de vue économique consisterait à mettre en place un prix mondial du carbone. Néanmoins, une telle initiative risque de se heurter dans le maritime à l'inégalité qui existe entre des pays continentaux qui tirent une bonne partie de leurs échanges de leurs frontières terrestres, et des pays insulaires qui utilisent la mer pour la majeure partie de leurs échanges. Les pays en développement s'opposent également à toute mesure non compensée qui conduirait à augmenter le prix de leurs importations.

À défaut de trouver un accord mondial, l'inclusion du maritime domestique et international dans le marché ETS constituerait une solution : la commission a d'ailleurs proposé d'inclure le maritime à dans le marché ETS à partir de 2023 s'il n'y a pas, à cette date, d'accord mondial sur la mise en place d'un prix du carbone. Mais, en l'absence d'un mécanisme d'ajustement aux frontières de l'UE, il conduirait à une certaine perte de compétitivité du commerce européen et à des distorsions de concurrence possibles par rapport aux pays limitrophes : la Turquie et les pays d'Afrique du Nord par exemple, mais aussi le Royaume-Uni. La mise en place d'un tel signal prix ne permet pas de résoudre toutes les difficultés de la transition vers un monde neutre en carbone. Dans ces conditions, le recours aux normes, si elles sont suffisamment ambitieuses, semble la solution la plus efficace aujourd'hui : normes portant à la fois sur la conception des navires et sur les émissions en exploitation compte-tenu de la diversité d'intérêts entre armateurs et chargeurs ; l'imposition d'un taux de biocarburants n'en est qu'une variante.

Le quatrième rapport de l'OMI montre l'intérêt d'un signal-prix carbone dont la trajectoire est connue suffisamment longtemps à l'avance pour que les décisions d'investissement puissent être optimisées. Il évalue en effet le coût des différentes technologies possibles de décarbonation et la valeur du carbone à partir de laquelle ils deviennent rentables.

Les travaux économiques menés par le *Lloyd's Register* et l'UMAS montrent que pour les catégories de navires considérées, toutes les variantes envisagées sont nettement plus onéreuses que l'utilisation du fioul lourd et que, pour atteindre un équilibre économique la valeur de la tonne carbone correspondante devrait être très élevée. Ceci conduit donc, d'un point de vue économique, à privilégier dans une première phase de développement des dispositifs d'accompagnement économique pour mettre au point les solutions technologiques, à fixer des objectifs de décarbonation longtemps à l'avance pour donner de la visibilité aux industriels et à mettre en place, si possible au niveau mondial, un signal prix carbone permettant de favoriser les solutions bas carbone (même s'il est insuffisant à court-moyen terme pour conduire à un basculement de technologies), sous forme soit de taxes sur le carburant ou d'incorporation des activités concernées dans le marché ETS, soit de normes de réduction des émissions, dont le coût correspond au signal prix envisagé ;

- la deuxième solution consiste en l'intervention de la puissance publique par l'intermédiaire de mécanismes de subventions. Il est bien connu que l'intervention de l'État est nécessaire pour soutenir la recherche à long terme, encourager l'innovation et en favoriser le déploiement, mais aussi pour aider le déploiement d'un réseau de télécoms ou d'électricité qui ne devient rentable qu'à partir d'un certain nombre d'abonnés. La Banque des territoires intervient par exemple en prenant à sa charge le risque correspondant au déploiement de bornes de recharges électriques dans les parkings des copropriétés : l'investissement ne sera en effet remboursé dans le temps que si plusieurs personnes achètent des véhicules électriques dans la copropriété. Le développement de l'hydrogène, de l'ammoniac, de l'électricité ou des biocarburants, nécessitera vraisemblablement des aides pour développer les infrastructures correspondantes et les installations de production, dans leur phase de démonstration. Ces mécanismes doivent naturellement être conçus dans le respect de la réglementation relative aux aides d'État ;
- la troisième solution mise en avant par le FIT consiste à fixer un objectif de décarbonation à long terme du secteur. Il donne un cap à tous les acteurs, encourage l'innovation et récompense les acteurs qui sauront la développer. Arrivé à l'échéance initialement envisagée, ce cap peut être repoussé dans le temps si aucun des acteurs n'arrive à développer de solution correspondante, par contre, il oblige tous les acteurs à se mettre en position de devoir passer à une économie décarbonée et à faire leurs meilleurs efforts en ce sens sous peine d'être écartés du marché si leurs concurrents arrivent à trouver des solutions décarbonées. Le FIT souligne la difficulté pour le secteur maritime de s'entendre sur un objectif perçu comme réaliste et son hésitation à retenir des objectifs qui seraient extrêmement difficiles à atteindre : ceci explique probablement

pourquoi l'OMI ne s'est engagée que sur une décarbonation de 50 % à l'horizon 2050. Dans ces conditions, il est dès lors souhaitable de s'entendre sur une date à laquelle tout nouveau navire ou bateau doit être neutre en carbone, ainsi que, sur une date plus rapprochée à partir de laquelle tout nouveau navire ou bateau mis en service doit être capable de basculer dans le courant de son exploitation vers un carburant neutre en carbone ;

- Pour combattre les effets pervers des normes à la conception, une première solution consiste pour la puissance publique à mettre en place des subventions pour inciter les armateurs à continuer à s'équiper après l'échéance. Une deuxième solution consiste à renforcer progressivement la norme sur les navires en exploitation en parallèle de la norme sur la conception des navires, et ainsi à faire évoluer parallèlement le renforcement des normes EEDI et les normes en exploitation, à travers l'EEXI ou le renforcement des SEEMP.

Le FIT souligne enfin qu'il n'existe pas une mesure unique permettant d'atteindre la neutralité carbone et que la transition pour y arriver doit reposer sur un paquet de mesures, dont certaines doivent être adoptées à une échelle internationale (voire européenne), mais dont d'autres peuvent relever du niveau national. Il insiste également sur l'idée que la neutralité carbone du secteur ne pourra être atteinte que grâce à la mise en service de navires zéro-carbone.

## 7 Une analyse du rapport de 2018 du forum international des transports sur la décarbonation du transport maritime d'ici 2035

Lors de la COP 23 qui s'est réunie à Bonn en 2017 sous la présidence des îles Fidji, son Premier ministre a rappelé dès l'ouverture que le réchauffement climatique remettait en question, dès maintenant, l'existence même de certains états insulaires, notamment des îles Marshall, de Tuvalu et de Kiribati. Il appelait donc l'ensemble des Parties non seulement à mettre en œuvre l'Accord de Paris, mais à aller plus loin encore. En septembre 2017, dans leur souhait de ne pas dépasser un réchauffement de plus d'un degré et demi en fin de siècle, Kiribati, les îles Marshall (qui, en mars 2017, avec 3 244 unités pour 223,762 millions de tonnes de port en lourd, occupaient le second rang mondial des flottes marchandes<sup>223</sup>), les îles Salomon et Tuvalu ont proposé que la stratégie de l'OMI adopte un objectif de décarbonation global à 2035. Dans cette perspective, le Forum international des transports a publié en 2018 une étude examinant la manière d'atteindre une telle décarbonation à 2035 et a ainsi livré des indications sur la faisabilité d'un tel objectif. En publiant un tel rapport, le FIT s'oppose au Japon qui considère que seul 50 % de la décarbonation est techniquement possible d'ici 2060, et à un certain nombre d'autres pays (Argentine, Brésil, Chine, Équateur, Inde, Nigeria, Arabie Saoudite, Afrique du Sud et Turquie) qui refusent tout plafonnement des émissions de carbone du secteur des transports maritimes, pouvant nuire au commerce mondial.

En 2018, l'OMI s'est finalement engagée sur une réduction de ses émissions de 50 % d'ici à 2050 : les îles Marshall ont joué un rôle majeur dans ces discussions. La déclaration signée par 44 pays et adoptée lors du *One Planet Summit* de décembre 2017 qui, à l'initiative de la France, visait à décarboner le secteur en 2050, conformément à l'objectif inscrit dans l'Accord de Paris, a d'ailleurs été appelée déclaration dite de Tony de Brum, du nom de l'ambassadeur climat des îles Marshall décédé en 2017 et qui avait pris une part active aux négociations lors de la COP 21. Mais au-delà de cet arbitrage, le rapport du FIT présente l'intérêt de proposer des mesures techniques aussi bien qu'économiques pour décarboner le secteur maritime.

Considérant que le trafic maritime domestique était de la responsabilité non pas de l'OMI, mais directement des États, cette étude n'a pris en considération que le trafic maritime international.

### 7.1 Une croissance modérée du trafic liée à la réduction de la consommation des hydrocarbure set à la régionalisation de la production

Pour mener son analyse, le Forum international des transports (FIT) a utilisé son modèle du transport international de marchandises en retenant, comme le montre la figure ci-dessous, un doublement du commerce mondial d'ici 2035 et une progression d'environ 3 % par an de celui-ci jusque 2050. Ces hypothèses l'amènent dans son scénario de référence à des émissions de gaz à effet de serre du transport maritime international de 1 090 millions de tonnes, très proches des 1 100 Mt CO<sub>2</sub> envisagées dans le cadre du scénario RCP 2,6 – SSP 4 retenu par l'OMI en 2014 et décrit dans le chapitre précédent. Elles intègrent donc comme l'avait fait l'OMI une amélioration de l'efficacité énergétique des navires d'environ 40 %.

Le FIT prend en plus en compte deux évolutions significatives du transport maritime international :

- une réduction plus marquée du transport des hydrocarbures : dans son *World energy outlook* de 2007, l'AIE envisage une baisse de la consommation mondiale d'ici 2040 de 41 % pour le charbon

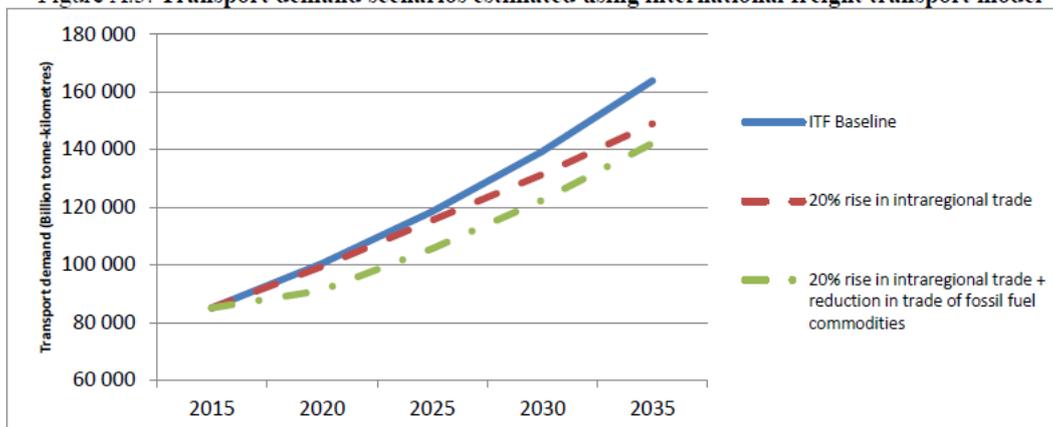
---

<sup>223</sup> <https://www.maritime-executive.com/article/marshall-islands-now-second-largest-registry>

et de 22 % pour le pétrole. Le FIT suppose donc que le commerce mondial de charbon pourrait baisser de 50 % d'ici à 2035, et que la baisse pour le commerce du de pétrole pourrait être de 33 %. Cette baisse est plus accentuée que dans les prévisions de l'OMI 2014 dans la mesure où le FIT considère que le recul du charbon a commencé à partir de 2015 ;

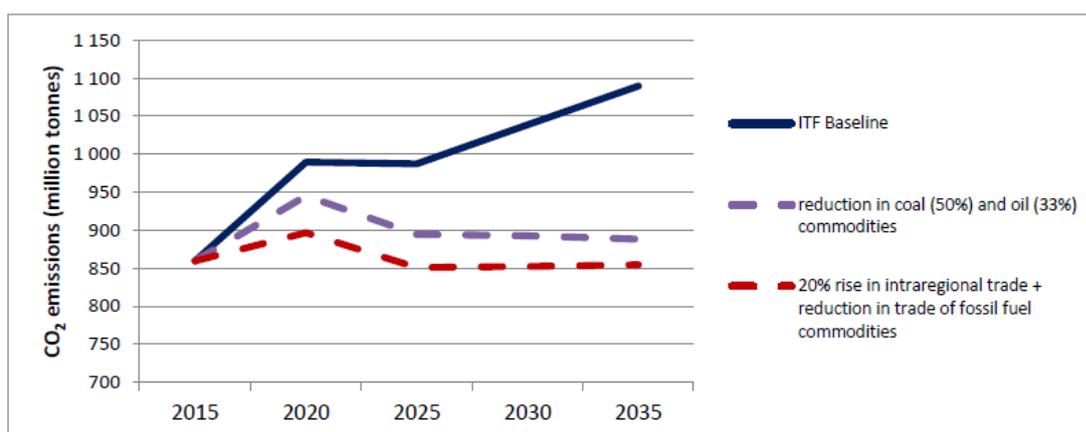
- un retour à une régionalisation plus marquée de la production, grâce notamment au déploiement de l'intelligence artificielle et de l'automatisation des usines, qui diminue le différentiel de coût de production par rapport aux pays qui disposent d'une main d'œuvre à bas coût. Il insiste également sur le développement des imprimantes 3D et de l'économie circulaire. Ceci le conduit à envisager une augmentation de 20 % du commerce intra-régional et une diminution parallèle du trafic international.

Figure A.3. Transport demand scenarios estimated using international freight transport model



Dans ces conditions, le FIT considère que les émissions du maritime international (qui bénéficient déjà d'une première réduction de 40 % sur la période liée à l'amélioration de l'efficacité énergétique) pourraient se réduire à 850 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> à l'horizon 2035 comme le montre la figure ci-dessous :

Figure 5. Combined impact of rise in intraregional trade and reduction in fossil fuel trade by 2035



Le FIT souligne que le trafic maritime empruntant l'océan Arctique devrait augmenter fortement dans le futur, réduisant ainsi les parcours de certains navires, mais qu'il ne l'a pas pris en compte dans ses estimations. Il examine également le développement des routes de la soie et le report modal qu'il pourrait représenter dans le transport maritime depuis l'Asie vers l'Europe, mais souligne que le gain en émissions de gaz à effet de serre serait très faible : 0,009 % des émissions actuelles.

## 7.2 Les mesures retenues pour décarboner le secteur maritime

Dans un second temps, le FIT combine des mesures techniques à la conception, des mesures en exploitation et l'utilisation de carburants alternatifs (y compris une part d'électricité sur de courtes distances) pour envisager quatre scénarios différents de décarbonation du secteur maritime à 2035 permettant de diviser les émissions par un facteur supérieur à 5 :

- **Mesures techniques en exploitation** : la réduction des vitesses constitue un levier essentiel dans tous les scénarios. Le FIT considère une réduction dite modérée, 6 % pour les porte-conteneurs et 9 % pour les tankers et les vraquiers (pour des vitesses moyennes estimées respectivement à 18,4 et 12,8 nœuds), et une réduction dite maximale de 26 % pour les porte-conteneurs, 30 % pour les tankers et 65 % pour les vraquiers. Il souligne néanmoins que les conditions météorologiques peuvent conduire à ne pas respecter ces limites. Comme la consommation des navires peut être, en première approximation, considérée comme proportionnelle au cube de leur vitesse, une baisse de 10 % de celle-ci réduit leur consommation instantanée et leurs émissions de 27 %, mais augmente la durée du trajet de 10 % si bien que les émissions sont réduites d'environ 19 %<sup>224</sup>. Cette réduction est plus faible s'il est nécessaire d'ajouter des navires supplémentaires pour assurer un flux constant de marchandises transportées (cas du pétrole notamment) ; une deuxième mesure opérationnelle consiste à utiliser des navires de plus grande taille : selon certains auteurs<sup>225</sup>, le seul remplacement de la flotte existante par des navires plus grands pourrait conduire à une réduction des émissions de 30 % ;
- **Mesures techniques à la conception** : le FIT est également ambitieux dans les mesures qu'il retient dans le design des navires. Celles-ci sont listées dans le tableau ci-dessous. L'une des mesures les plus prometteuses dans l'amélioration de l'efficacité du système de propulsion, mais relativement coûteuse, consiste à utiliser des hélices contrarotatives, composées de deux hélices successives tournant en sens inverse, la deuxième récupérant une partie de l'énergie de rotation produite par l'hélice avant : les gains de consommation pouvant atteindre jusque 15 %. D'autres mesures sont envisageables : une étrave à bulbe permet de réduire la résistance à l'avancement et peut conduire à des gains de 2 à 7 % : ce système ne trouve cependant sa pleine efficacité que pour un chargement et une vitesse du navire déterminés ; un design plus fin de la coque permet également des gains notables (entre 10 et 15 %).

Mesures	Economie possible de carburant
Matériaux plus légers	0 – 10 %
Design plus fin de la coque	10 à 15 %
Amélioration système propulsion	1 à 25 %
Etrave à bulbe <sup>226</sup>	2 à 7 %

<sup>224</sup> *Regulated slow steaming in maritime transport: an assessment of options, costs and benefits*, Faber, J. et al. (2012) Commissioned by Transport and Environment and Seas at Risk, CE Delft, February 2012. [https://www.cedelft.eu/publicatie/regulated\\_slow\\_steaming\\_in\\_maritime\\_transport/1224](https://www.cedelft.eu/publicatie/regulated_slow_steaming_in_maritime_transport/1224)

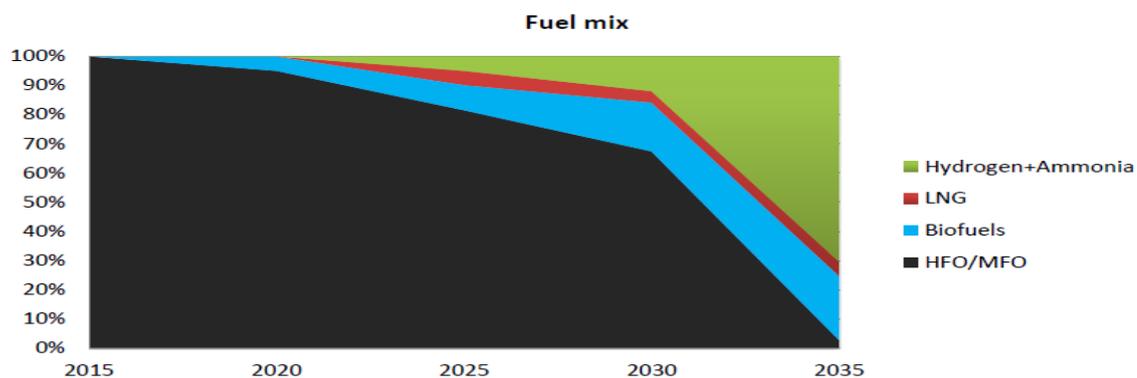
<sup>225</sup> *The Importance of economies of scale for reductions in greenhouse gas emissions from shipping*, Lindstad, H. et al. (2012), Energy Policy, 46, 386-398, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512002820>

<sup>226</sup> La principale fonction du bulbe d'étrave est de créer une vague à l'avant du système normal de vagues généré par le navire en route ; à une certaine vitesse, le creux de cette vague additionnelle coïncide avec le sommet de la vague d'étrave, qui se retrouve annulée : la résistance hydrodynamique est ainsi réduite et le navire peut aller plus vite pour une même puissance. Source Wikipédia

Lubrification à air <sup>227</sup> et traitement de surface de la coque <sup>228</sup>	2 à 9 %
Récupération de la chaleur	0 à 4 %

Il considère que de telles innovations se mettront en place progressivement d'ici 2035, mais souligne que les décisions permettant d'améliorer le design des futurs navires doivent être prises dès aujourd'hui ;

- les carburants alternatifs : si les mesures précédentes permettent d'améliorer l'efficacité énergétique, la recherche de la neutralité carbone va conduire à utiliser des carburants et des énergies alternatives (qui, dans la partie amont de leur cycle, peuvent néanmoins conduire à émettre du CO<sub>2</sub>). Dans ses scénarios, le FIT retient trois valeurs possibles de réduction des émissions liées à l'utilisation des carburants alternatifs : 50, 75 et 80 %, cette dernière valeur étant rendue possible, pour le FIT, par le développement de l'ammoniac. Dans son scénario le plus ambitieux, où le carbone contenu dans les carburants est réduit de 80 %, le FIT retient, comme le montre la figure ci-dessous, un mix composé à 70 % d'hydrogène et d'ammoniac, à 22 % de biocarburants, à 5 % de GNL : les combustibles fossiles ne représenteraient plus que 3 % du mix. Comme nous le verrons dans le chapitre suivant sur les solutions techniques, le FIT considère l'utilisation de l'hydrogène et de l'ammoniac (mais aussi de méthanol) dans des moteurs classiques : il indique notamment qu'un carburant composé de 50 % de fuel lourd et de 50 % d'hydrogène peut réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 43 %. Il indique que la technologie des piles à combustible doit encore progresser : elles présentent une maturité faible, sont coûteuses et occupent beaucoup de place<sup>229</sup>.



Dans deux de ses scénarios, le FIT prend également en compte le développement, lié à la baisse du coût des batteries, de la mobilité électrique pour les navires parcourant des distances courtes.

Le FIT retient les quatre scénarios présentés dans le tableau ci-dessous :

<sup>227</sup> Un système de lubrification à air est un système qui réduit la composante de résistance visqueuse de la coque du navire en créant une couche de bulles d'air sous la coque du navire. Cela réduit la résistance au frottement entre la coque et l'eau de mer. Source Wikipédia

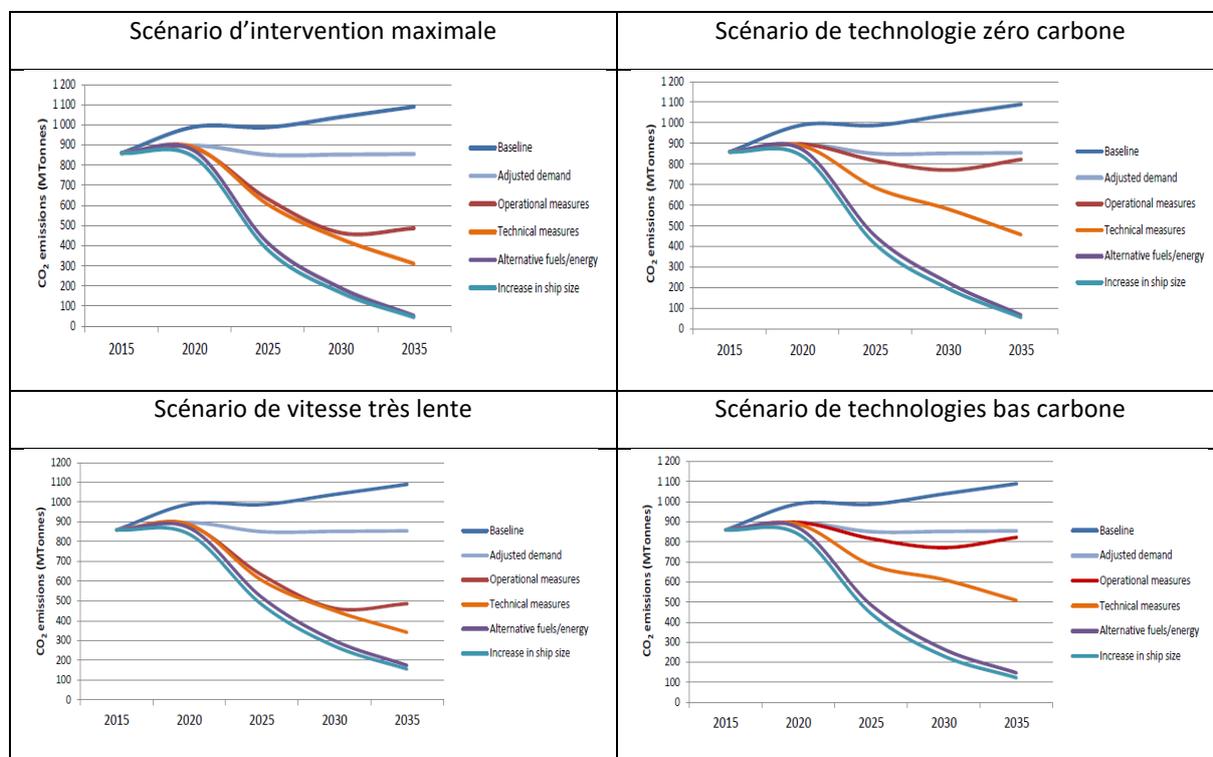
<sup>228</sup> Un revêtement adapté de la coque conduit à réduire les forces de frottement qui représentent typiquement 50 à 80 de la résistance à l'avancement. Il doit être associé à un nettoyage fréquent de la coque. Source Rapport FIT

<sup>229</sup> Rapport FIT p 39: « *Despite their benefits, fuel cells still have a low maturity, and are expensive and space demanding. PEMFCs for example are more suitable for auxiliary engines and can contribute to the electricity demand but not fully cover it* ».

Scénario	Mesures en exploitation	Mesures à la conception	Facteur de réduction des émissions due aux carburants alternatifs	Part de l'électricité	Réduction CO <sub>2</sub> en millions de tonnes/an	Pourcentage de réduction
Intervention maximale	Maximum	Maximum	80 %	10%	810	95 %
Technologie zero carbone	Modéré	Maximum	80 %	10 %	798	93 %
Vitesse très lente	Maximum	Maximum	50 %	-	698	82 %
Technologies bas carbone	Modéré	Maximum	75 %	-	731	86 %

Partant de 1080 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> en 2015, le FIT aboutit à des émissions variant de 44 à 156 Mt dès 2035, ce qui représente une réduction de 82 à 86 %. Le tableau ci-dessous montre que les mesures employées diffèrent assez sensiblement d'un scénario à l'autre, ce qui montre qu'il y a plusieurs chemins possibles vers la décarbonation :

- dans les scénarios d'intervention maximale et de vitesse lente, la réduction de vitesse joue un rôle important. Au contraire, les scénarios technologie zéro carbone et technologies bas carbone insistent et mettent l'accent sur les réductions liées à l'emploi de nouvelles technologies ;
- dans tous les cas, l'utilisation de carburants et de motorisations propres s'avère nécessaire pour réduire fortement les émissions. Le scénario de technologies bas-carbone considère un développement moindre de l'ammoniac et de l'électrique.



## 8 Glossaire des sigles et acronymes

Acronyme	Signification
ACA	Acronyme de l'anglais « Airport Credit Accreditation »
ACV	Analyse du cycle de vie
ACI-Europe	Acronyme de l'anglais « Airports Council International Europe »
A-CDM	Acronyme de l'anglais « Airport Collaborative Decision Making »
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ADF	Armateurs de France
ADP	Aéroports de Paris
AEE	Agence Européenne pour l'Environnement
AESA	Agence Européenne de Sécurité Aérienne
AESM	Agence Européenne de Sécurité Maritime
AFBE	Association Française du Bateau Electrique
AIE	Agence Internationale de l'Energie
AMI	Appel à manifestation d'intérêt
AMP	Aires marines protégées
APU	Acronyme de l'anglais « Auxiliary Power unit »
ATAG	Acronyme de l'anglais « Air Transport Action Group »
ATM	Acronyme de l'anglais « Air Transport Management »
AUTF	Association des utilisateurs de transport de fret
BEGES	Bilan d'émissions de GES
CCNR	Commission Centrale pour la Navigation du Rhin
CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (UNFCCC)
CCS	Acronyme anglais pour « Carbon Capture and Storage »
CCTN	Commission des Comptes des Transports de la Nation
CE	Commission européenne
CEE	Certificat d'économie d'énergie
CEE-NU	Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies
CEREMA	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement et l'aménagement
CGDD	Commissariat général au développement durable
CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable
CGI	Code Général des Impôts
CIMer	Comité interministériel de la mer

<b>Acronyme</b>	<b>Signification</b>
CITEPA	Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique
CMF	Cluster Maritime Français
COPMED 21	21ème réunion des parties à la Convention de Barcelone pour la protection du milieu marin et du littoral de la Méditerranée
CORAC	Conseil pour la recherche aéronautique civile
CORIMER	Conseil de la recherche et de l'innovation des industriels de la mer
CORSIA	Acronyme de l'anglais « Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation »
COV	Composé organique volatile
COV(NM)	Composé organique volatile (non mléthanique)
CROSS	Centre régional opérationnel de surveillance et de sauvetage
CSC	Capture et stockage du carbone
CSMM	Conseil supérieur de la marine marchande
DAM	Direction des Affaires Maritimes
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
DGITM	Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer
DLF	Direction de la Législation Fiscale
DLR	Acronyme de l'allemand « Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt »
DPMA	Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture
DSNA	Direction des Services de la Navigation Aérienne
ECA	Acronyme de l'anglais " Emission Control Area"
ECSA	Acronyme de l'anglais " European Community Shipowners' Associations »
EEA	Acronyme de l'anglais « European Environment Agency »
EEDI	Acronyme de l'anglais « Energy Efficiency Design Index »
EEXI	Acronyme de l'anglais « Energy Efficiency eXisting ship Index »
EFTA	Acronyme de l'anglais « European Free Trade Association »
EIS	Acronyme de l'anglais " Environmental Shipping Index "
EMNR	Engins Mobiles Non Routiers
EMR	Energie marine renouvelable
ENSM	École Nationale Supérieure Maritime
EU-ETS	Acronyme de l'anglais « European Union Emissions Trading System »
FAB	Acronyme de l'anglais « Functional Airspace Block »
FABEC	Acronyme de l'anglais « Functional Airspace Block Europe Central »
FE	Facteur d'émission
FEAMP	Fonds Européen pour les Affaires Maritimes et la Pêche
FFPM	Fédération Française des Pilotes Maritimes

<b>Acronyme</b>	<b>Signification</b>
FIN	Fédération des Industries Nautiques
FIT	Forum International des Transports
FOD	Fioul domestique
FOL	Fioul lourd
GES	Gaz à effet de serre
GICAN	Groupement des Industries de Construction et Activités Navales
GIEC	Groupement international d'experts pour le climat
GME	Acronyme de l'anglais " label Green Marine Europe "
GNL	Gaz naturel liquéfié
GPMD	Grand Port Maritime de Dunkerque
GPMH	Grand Port Maritime du Havre
GPMLM	Grand Port Maritime de la Martinique
GPMM	Grand port maritime de Marseille,
HAROPA	Ensemble des trois ports de l'axe Seine : Le Havre-Rouen-Paris
IATA	Acronyme de l'anglais « International Air Transport Association »
IWSA	Acronyme de l'anglais « International Wind Ship Association »
ICCT	Acronyme de l'anglais « International Council on Clean Transportation »
ICS	Acronyme de l'anglais "International Chamber of Shipping "
IFT	Acronyme de l'anglais « International Forum transport »
INERIS	Institut National de l'environnement industriel et des risques
IPCC	Acronyme de l'anglais « Intergovernmental Panel on Climate Change » [GIEC]
LDAEE	Lignes directrices concernant les aides d'État à la protection de l'environnement et à l'énergie 2014-2020
LOM	Loi d'Orientation des Mobilités
LSFO	Acronyme de l'anglais "Low sulfur fuel oil"
LTECV	Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte
LTO	Acronyme de l'anglais « Landing and Take Off » [Cycle d'atterrissage/ décollage (< 1000m)]
MARPOL	Acronyme de l'anglais " Maritime Pollution "
MBM	Acronyme de l'anglais « Market Based Measures »
MDO	Acronyme de l'anglais " Marine Diesel Oil "
MEPC	Acronyme de l'anglais " Marine Environment Protection Committee " ( de l'OMI)
MGO	Acronyme de l'anglais " Marine gas oil "
MIE	Mécanisme d'Interconnexion en Europe
MRV	Système de surveillance de déclaration et de vérification (Measuring, Reporting, Verification)

<b>Acronyme</b>	<b>Signification</b>
MTE/MTES	Ministre de la transition écologique/ Ministre de la transition écologique et solidaire
NASA	National Aeronautics and Spatial Administration
NDC	Contribution déterminée au niveau national
NECA	Acronyme de l'anglais "Nitrogen Emission Control Area "
NOx	Acronyme de l'anglais " Nitrogen Oxide "
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
ODD	Objectif de développement durable
OGCI	Acronyme de l'anglais « Oil and Gas Climate Initiative »
OIT	Organisation internationale du travail
OMI	Organisation maritime internationale
OMINEA	Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques en France
OMM	Organisation météorologique mondiale
ONG	Organisation non gouvernementale
ONU	Organisation des Nations unies
PAC	Pile à Combustible
PAMI	Plan d'aide à la modernisation et à l'innovation
PKT	Passagers kilomètres transportés
PIA	Programme d'investissements d'avenir
PM <sub>2,5</sub>	Particules en suspension dans l'air d'un diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 microns
PM <sub>10</sub>	Particules en suspension dans l'air d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 microns
PNUE	Programme des Nations unies pour l'environnement
PTF	Bureau en charge du transport fluvial (au sein de le DGITM)
SDES	Service de la Donnée et des Etudes Statistiques du Ministère de l'Environnement
SECA	Acronyme de l'anglais « Sulphur Emission Control Area »
SEEMP	Acronyme de l'anglais « Ship Energy Efficiency Management Plan »
SECTEN	SECTeurs économiques et ENergie
SEQE	Système d'Echange des Quotas d'émission
SESAR	Acronyme de l'anglais « Single European Sky ATM Research »
SNBC	Stratégie nationale bas carbone
SOx	Acronyme de l'anglais " Sulphur Oxides"

<b>Acronyme</b>	<b>Signification</b>
TCO	Acronyme de l'anglais « Total Cost of Ownership »- Coût total de possession en français
TEU	Acronyme de l'anglais « Twenty-foot equivalent unit » -EVP ou équivalent 20 pieds en français
TICPE	Taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques
T2EM	Transition éco-énergétique de la filière maritime
UAPF	Union des Armateurs à la Pêche de France
UCL	Acronyme de l'anglais « University College London »
UE	Union européenne
UMAS	Acronyme de l'anglais « University Maritime Advisory Services »
UNECE	Acronyme de l'anglais United Nations Economic Commission for Europe
UNFCCC	Acronyme de l'anglais « Framework Convention on Climate Change »
UNIM	Union nationale des industries de la manutention
UPF	Union des ports de France
UTCATF	Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie
VLCC	Acronyme de l'anglais "Very Large Crude Carrier"
VNF	Voies navigables de France
VP	Véhicule Particulier
VTOL	Acronyme de l'anglais « Vertical Take-Off and Landing »
VU	Véhicule Utilitaire
VUL	Véhicule Utilitaire Léger
ZEE	Zone économique exclusive

[Site internet du CGEDD : « Les derniers rapports »](#)